雙　月　刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER

NO. 150
2014 OCTOBER

提升核安等級刻不容緩　我國核電廠耐震補強作業報導

日本放射線醫療日趨進步

日本川內核電廠確定可重新啟動

英國核電工業向中國打開投資大門

用過核燃料有解　讓美國重開反應爐申請之路



潘朵拉的承諾——核電啟示錄　影片導覽

核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.150 雙月刊

OCTOBER中華民國一〇三年十月號

特別報導

專題報導

讀者論壇

核能脈動

核能新聞

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一Ｏ一號研發大樓208室
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、李清山、汪曉康、陳布燦、陳條宗、劉仁賢、謝牧謙、簡福添（依筆畫順序）
主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：羅德禎
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段166號6樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告

編者的話

9月9日英國貿易文化辦事處、德國在台協會以及法國在台協會駐台代表聯名投書媒體指出，台灣目前的二氧化碳排放量每人每年約11.3公噸，是全球平均值4.9公噸的2.3倍。這3國的代表透過投書表示，期待台灣政府能像英、法、德國一樣，積極採取各項減碳措施。雖然台灣並非聯合國成員，但也很重視新的全球氣候協議對外貿的商業競爭力，以及對世界減碳承諾的影響。希望台灣和全球一同對抗可能是這個時代所面臨的最大挑戰之一。

中研院院士、環境變遷中心特聘研究員劉紹臣表示，我國不是沒有氣候法規，只是卡在立法院生不出來；至於氣候政策，不外乎使用化石燃料的替代能源，或是針對能源課稅，最為直接有效。但是目前最可行的替代能源就是核能與太陽能，前者已經胎死腹中，後者相對於燃煤，價格仍高。劉紹臣無奈的表示，電價漲民調就跌，哪個首長敢動？更別提要課碳稅、能源稅，根本是天方夜譚，「就算訂了法規又如何？做不到也是白搭！」

聯合國於9月23日召開氣候高峰會，而英國官方指派的「低碳商務大使」茱莉亞金恩也於9月30日來台出席我國經濟部舉辦的「再生能源及國際綠色金融」國際研討會，同時在會中分享英國資訊、科技及相關政策。

經濟部已於9月10日宣布，將在今年年底前舉辦一系列的能源會議，希望解決能源政策長久以來的爭議。此會議對能源所產生的共識，將影響我國未來的能源配比與低碳能源的發展。

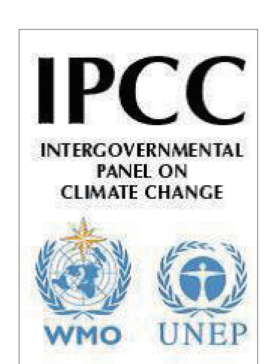
台灣的人均排碳量如此之高，我們區區2千多萬人，竟製造出這麼多溫室氣體，甚至影響連累全人類的存亡絕續，實在令人汗顏。相對而言，如果台灣減碳有成，對全球氣候變遷的減緩，將扮演重要的角色。衷心期盼年底的全國能源會議各界能摒棄成見，排除爭議，得出確實可節能減碳的共識，交由政府相關部門徹底實施，進而確實降低我國的排碳量，相信將會是全人類之福。

「暖化」大敵當前 核電地位應重新檢討 「潘朵拉的承諾」影片導覽

文．編輯室

氣候變遷有比過去更嚴重嗎？試想南亞大海嘯、東京大雪、八八風災、日月潭缺水等，許多環境保護組織意識到人類現階段最大的敵人不是核電，而是氣候變遷。「綠色能源」或許還要30-50年才能發展普及，但這段時間必須要有「藍天能源」，意即「不破壞臭氧層的能源」，核電成為緩阻氣候變遷的重要選項。

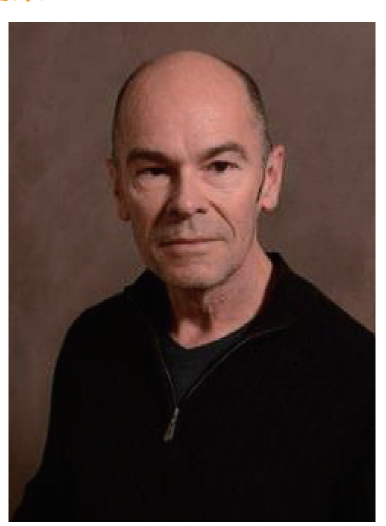
相信權威？聯合國專家：暖化警訊現，核能、再生能源比例均須提高



今（2014）年4月，聯合國氣候變遷跨政府委員會（IPCC）報告指出，全球溫室氣體排放量增加，2000年到2010年二氧化碳排放量平均每年增加10億噸，達到「史無前例的水準」，若不改變，全球氣溫會在2100年前上升攝氏3.7-4.8度，達到科學家認為會產生災難性影響的水準！除非，溫室氣體能在2050年前減排40%-70%，才可望達成將氣溫上升幅度控制在攝氏2度以內的目標。

聯合國氣候變遷跨政府委員會提出最有效率的做法，就是增加來自再生能源和核能的比例2-3倍，而傳統化石或新生質燃料能源的溫室氣體排放量捕捉比率也要提高。

立場的蛻變？從反核到擁核的紀錄片導演羅伯．史東



曾因反核武電影《Radio Bikini》獲奧斯卡紀錄片提名的導演羅伯．史東（Robert Stone），原先也認為核能是危險的，眼見全球氣候巨幅惡化，氣溫不斷上升，體認到應該重

新思考核能的議題。當了解核能事實之後，認為「過去一直被引導去相信核能及其歷史事件，卻發現大部分和發生的事實大不相同」，因此籌畫「潘朵拉的承諾（Pandora's Promises）」紀錄片的拍攝，以此造訪全球各地的核能區域，包含車諾比電廠內部、福島禁區，並訪問諸多環保人士如何去反省過去的信念，藉此片使大眾瞭解核能相關知識，並解開民眾對核能的誤解，試圖告訴民眾：「當你終於了解你並不懂核能時，你會怎麼辦？」

火力發電不可怕？一段新聞工作者格溫妮絲．奎文的回顧



美國小說家與新聞工作者格溫妮絲．奎文（Gwyneth Cravens），過去的立場是：「我反核電，就是三哩島、車諾比、原子彈，以及核武器等的訊息這樣告訴我。」但是，當她認知到「美國火力電廠每年排放的懸浮微粒就奪走1.3萬人性命，全球每年則有300萬人死於火力電廠造成的空氣污染」，因此開始去了解火力發電而有所顧慮，因為「沒人知道煤炭有多糟，不知道它奪走了多少人命」，奎文冷靜地說著。

充滿謊言的數據？環團創辦人麥可．謝倫伯格的再思考

聯合國的科學報告指出，車諾比事件之後並沒有任何畸形的兒童出生，而美國迄今更沒有發生任何因商用核反應爐而死亡的個案，美國知名環保團體「突破組織」（The Breakthrough Institute）創辦人之一的麥可．謝倫伯格（Michael Shellenberger），對環保政策再熟悉不過，當面對核災造成的死亡數據，一舉道出：「若要相信綠色和平組織及其他人所宣稱的有100萬人在核災中死亡，等同於你不相信世界衛生組織、聯合國等數百位世界上頂尖公衛專家說的事實。」



各種發電廢料，哪個嚴重？來自環保人士馬克．林納斯的駁斥

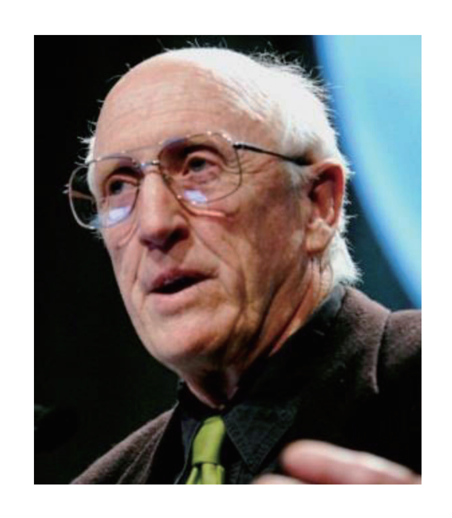
英國環保人士，撰寫過多篇氣候變遷議題文章的馬克．林納斯（Mark Lynas），對於坊間流言曾評論：「事實在眼前卻充滿扭曲，常是因為沒有去深入了解真實的情況」，而反核者常提及的核廢料問

題，亦充斥著不對稱的認知。表示「法國有50座核電廠，供應了全國80%電力，產生的核廢料儲存在一個房間大小的地底下；但是，火力發電廠卻產生數10億噸的廢料。」這點足以完全駁斥大部分的反核論點。



何不運用新科技來解決能源困境？環保運動巨人史都華．布蘭德的提醒

多數人認為，我們總有辦法減少能源消耗，事實上，只要發現能源使用越來越多，相較昂貴的太陽能板或風力發電機，核電是更經濟的替代方案。被視為1960及1970年代環保運動巨人的史都華．布蘭德（Stewart Brand），也是著名雜誌《全球概覽》（The Whole Earth Catalog）總編輯，這回直搗反核問題要害：「人類需要穩定供應的能源，但目前再生能源都還無法穩定供應，更何況風力、太陽能都需要很大的腹地來發電。」因此，布蘭德強調妥善運用新科技如何解決現況，才是真正的方法，如同：「美國回收自俄羅斯的核彈頭已有16,000枚，用來作為能源、核能發電使用，等於透過削減核子武器來照亮我們的城市。」



全國熱烈放映中

歡迎各機關、學校、社團接洽放映「潘朵拉的承諾」紀錄片，可以電子郵件聯繫：chns2012@gmail.com，也可電洽：03-5742828顏小姐；一般民眾可上「潘朵拉的承諾」臉書專頁：https://zh-tw.facebook.com/pandoraspromisetw查詢播放場次、地點。

第 149 期勘誤表

1. 第 149 期第 7 頁左欄第 24 行，應為「……並會繼續追加興建 400 至 600 萬瓩容量的……。」
2. 第 18 頁左欄第 11 行應為「量，2035 年日產量將達到 2,500 萬桶（如圖 4）。

台灣需要潘朵拉的承諾

文・梁正宏

如果你手中握有一枚硬幣，會想些什麼？是懊惱自己只剩一枚硬幣？慶幸自己還有一枚硬幣？還是跟我一樣，想起網路熱門微電影：西班牙聖洛克廣場上的那幕場景？

午後斜陽，一個小女孩緩步走向手持大提琴的默劇表演者前，怯怯將手中的硬幣投入倒置的黑色高帽內。

剎那間，表演者甦醒了過來。

他拉弓幾下，一個婦人提著大提琴加入，試了幾個音，幾個朋友帶來大管和小提琴助陣，但總覺得還缺少什麼。於是喇叭、法國號、定音鼓等陸續輕裝進場，儼然成為街坊的即興音樂聚會。行人不分男女老少，爭相駐足圍觀。大家嗅出《快樂頌》的交響樂，無不欣喜。音符接續不斷，彷彿陽光般灑落，漫天飛舞。抑揚頓挫間，深受感染的行人也不落人後，引喉高歌，神情滿是自信光彩；孩童們更邊學著指揮，邊手舞足蹈起來，洋溢著一片盪氣迴腸，溫馨安好。那是多令人嚮往的場景！

反核模式落後美國30年

然這場景，讓我憶起70年代末美國知名反核電影《大特寫（The China Syndrome）》，女主角珍・芳達走向廣場，高喊著「三哩島的核子事故，將會導致爐心熔毀，穿過地心，直達地球彼端的北京！」這樣的言論，在今日聽來是多麼的荒謬！可在當時卻引發不少恐慌。30多年走過，隨著核能真相的越看越明，廣場上的錯誤訊息終於被圍攏過來的正向聲音取代。即使在日本福島發生核子事故的第一時間，美國的擁核民調仍高達70%。

2013年，為避免重蹈歷史覆轍，美國知名導演史東（Robert Stone）拍攝了《潘朵拉的承諾》紀錄片，忠實傳達一群環保與能源專家，包括他自己，如何從過去的極端反核轉變為擁核的心路歷程；並採用娓娓道來手法，理性導正民眾對於核能的迷惑與誤解。紀錄片一開頭，史東更現身說法，直搗問題核心：「我反核，但會不會我的恐慌一直是錯的呢？」彷彿一枚硬幣拋向心湖，牽動

漣漪無數，發人深省。

先加強能源與環保教育

反觀近年的台灣廣場，卻呈現30多年前美國反核模式。尤其令人驚訝的是，台灣民眾普遍對於能源基本問題缺乏認知，例如「台灣逾90%能源依賴進口，竟然僅有16%的民眾知道！」相信更少的民眾能夠進一步瞭解：「全球每年有300萬人死於火力電廠所造成的空氣汙染」、「台灣火力電廠的二氧化碳排放量名列世界前茅」、「台灣的人均二氧化碳排放量為亞洲第一」、「火力電廠煙囪排放的輻射量比核電廠高出10倍」、「全球迄今沒有民眾因為核電廠的輻射而死亡，更沒有導致畸形兒的案例發生」、「台灣的核廢料絕對不等於23萬顆原子彈」、「再生能源如風力與太陽能，不僅無法穩定供應，還需相當大腹地，不適合台灣的基載容量發電使用」等事實。確實資訊無法充分傳達，泛政治化的台灣核能議題易受有心者操弄，誤導民眾做出錯誤決定，致使國家的內聚力與經濟力大幅喪失，甚至影響全球氣候變遷。因此，在台灣選擇適當的未來能源之前，亟需加強能源與環保教育。

《潘朵拉的承諾》是很好的能源與環保教育紀錄片。不管你擁核或反核，都應前去觀賞，借鏡他山的寶貴經驗，對台灣能源做出正確的選擇。在我們開拍台灣版的《潘朵拉的承諾》之前，多期望這部美國版的《潘朵拉的承諾》，也能像那小女孩手中的硬幣，啟封核能默劇，傳唱起台灣的快樂頌來。

（作者為清華大學核子工程與科學研究所特聘教授）

提升核安等級刻不容緩
我國核電廠耐震補強作業報導

文．編輯室

今年6月27日，我國運轉中的6部核能機組都已完成第一階段耐震補強工程，核一廠耐震能力提升至0.51g、核二廠0.67g、核三廠0.72g，即使發生7級強震，反應爐也能安全的自動停機，為我國核能安全提昇至更高等級。

建廠於地質穩定地區

我國核電廠在建廠之初即按照美國核能法規，慎選地質穩定地區作為廠址；且依據當時的地質調查研究，未有山腳斷層通過核一、二廠附近的佐證資料。另核三廠附近的恆春斷層則為不整合面，因而認定都不屬於核能法規定義的「能動斷層」（capable fault）。據此，各核電廠參考以往的地震歷史紀錄，保守的設計各廠安全停機地震值。而且各反應爐廠房座落於堅實的岩盤上，並以最高安全標準設計，所以廠房結構的強度遠遠超出一般建築設計的要求。

依據96年7月與98年12月中央地質調查所最新調查結果，研判山腳斷層及恆春斷層為第二類活動斷層。台電公司依據這些新事證，立即展開「營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度再評估計畫」及「營運中核能電廠補充地質調查工作」；並於100年7月再依據美國核能法規，針對核一、二、三廠2串安全停機路徑設備進行「耐震餘裕評估」工作。依規定以原耐震設計值的1.67倍與定值法地震值的較大值進行評估，耐震餘裕評估報告已於102年12月陳報原能會審查。

因應新事證 進行耐震評估

台電公司同時啟動供電調度應變機制，協調公司內各單位全力協助，除了確保夏季供電穩定外，並成立「核一二三廠專案小組」下設6個小組，統籌規劃6部核能機組依據耐震餘裕評估結果，進行2串安全停機路徑設備的第一階段耐震補強作業。

台電公司核能發電處簡福添處長在接受本刊專訪時表示，本案動員總公司及各核電廠人力，並納入泰興、益鼎及美國S&A等顧問公司，全體人員不分平、假日，每天超過12小時的努力不懈，全力推動耐震補強相關因應作業。簡處長說：「電廠人員白天設計，晚上還要和美國方面進行視訊會議，確認設計符合安全標準，第2天再送交工程人員執行。」

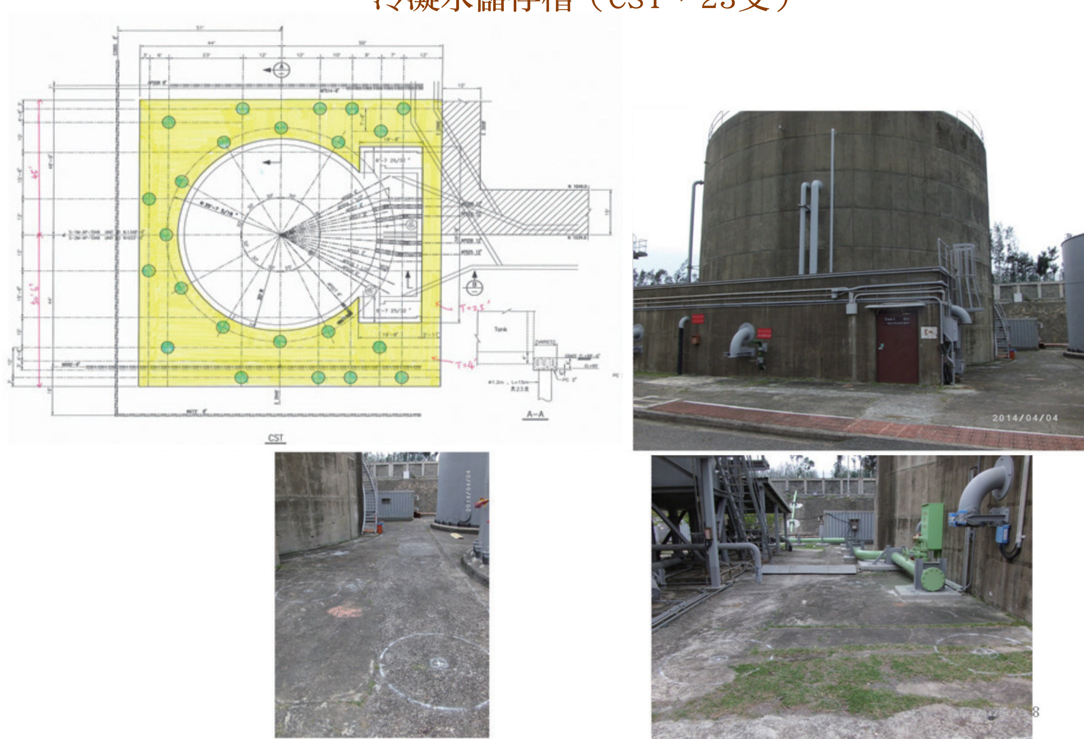
不分日夜全體總動員

在各廠耐震補強作業中，以核三廠的桶槽補強基樁工程最為艱鉅，核三廠每部機有4個大型桶槽需要執行補強，2部機共有108支地樁。每支基樁開挖直徑1.2米、深15米。每個桶槽各基樁之間再以開挖0.9-1.2米的環狀鋼樑相連接。開挖時必需避開飛射物屏蔽、閥室、地下相關管線以及地上設備與管路，困難度極高（如圖2-圖4核三廠執行桶槽補強基樁工程）。

簡處長說明：「為了避免鑽打基樁時傷及地下的管路，必須以人力徒手挖掘達5公尺深，找到管路之後，才能以機具設備繼續挖掘至15公尺處，打入直徑12公尺的基樁，將桶槽固定在岩盤內，過程非常辛苦。」

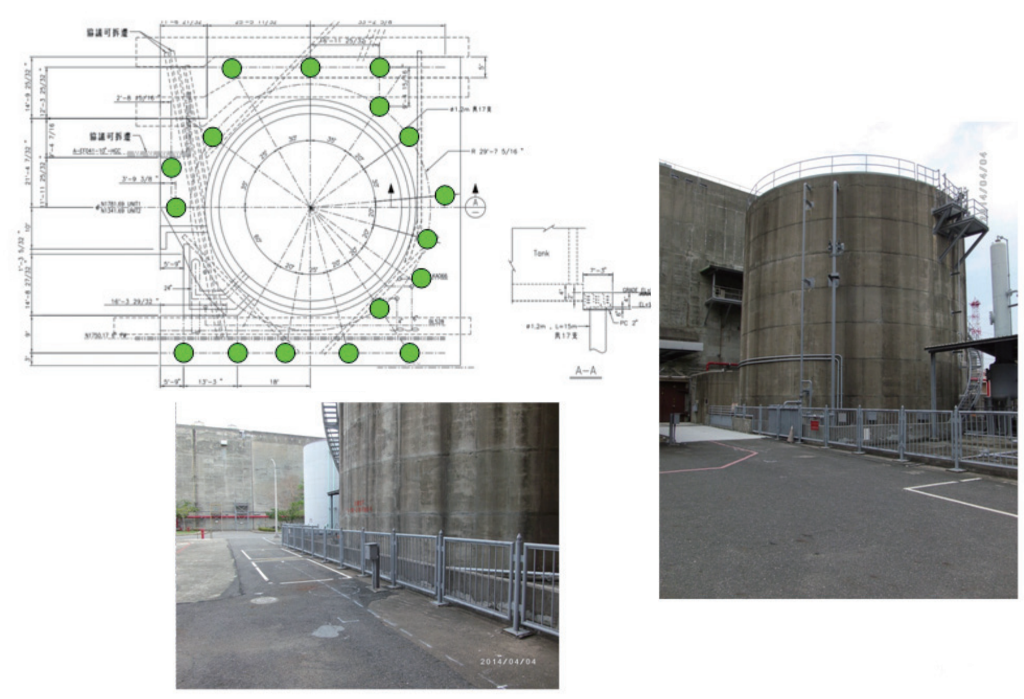
如期如質提昇耐震係數

核三廠2號機基樁工程接續大修停機自4月16日動工，依設計圖面及施工計畫展開施作。現場同時建立前進指揮中心管控所有施工細節及應變措施，採24小時全力作業。至5月6日凌晨01:40完成全部基樁開挖灌漿，後續基樁養生與環樑施工。於5月7日19:55獲原能會准予機組啟動，5月9日13:14恢復併聯發電。5月28日完成



▲圖 2 核三廠執行桶槽補強基樁工程（1）

燃料更換水儲存槽（RWST，17支）



兩個柴油發電機燃油儲存槽（FOST，14支）



▲圖 3　核三廠執行桶槽補強基樁工程（2）

核三廠桶槽基樁施工大型機具



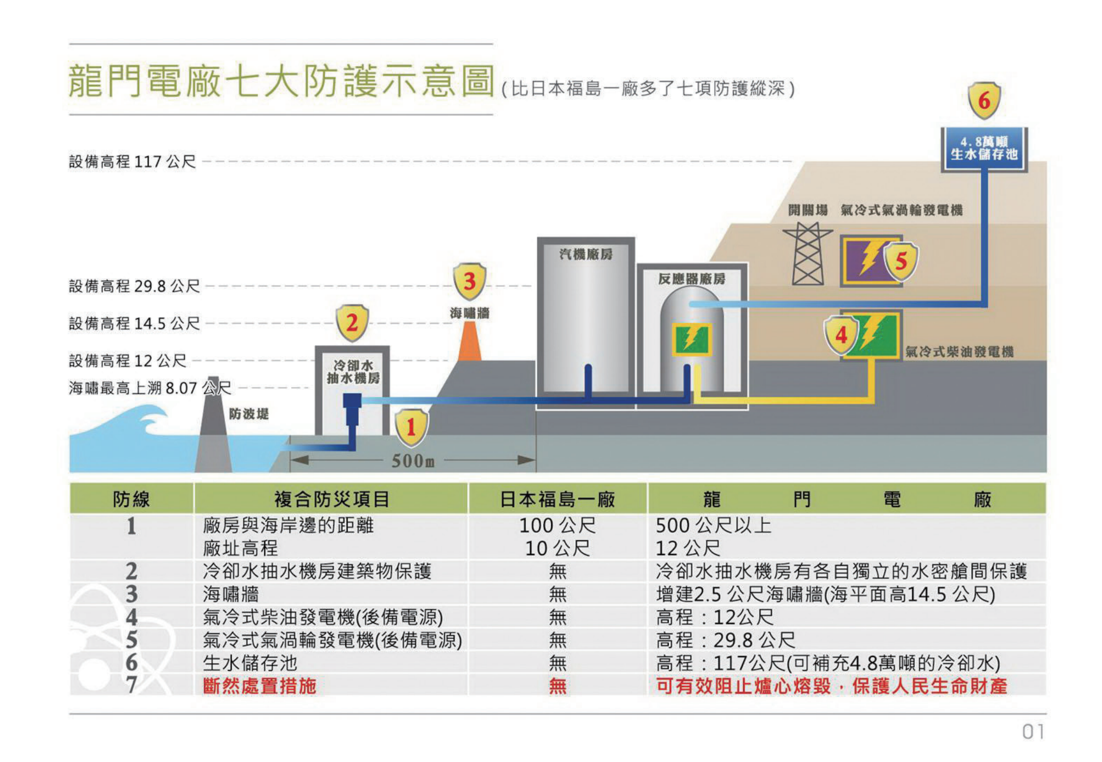


核三廠桶槽施工狀況





▲圖 4　核三廠執行桶槽補強基樁工程（3）



防線	複合防災項目	日本福島一廠	龍門電廠
1	廠房與海岸邊的距離 廠址高程	100 公尺 10 公尺	500 公尺以上 12 公尺
2	冷卻水抽水機房建築物保護	無	冷卻水抽水機房有各自獨立的水密艙間保護
3	海嘯牆	無	增建2.5 公尺海嘯牆(海平面高14.5 公尺)
4	氣冷式柴油發電機(後備電源)	無	高程：12公尺
5	氣冷式氣渦輪發電機(後備電源)	無	高程：29.8 公尺
6	生水儲存池	無	高程：117公尺(可補充4.8萬噸的冷卻水)
7	**斷然處置措施**	**無**	**可有效阻止爐心熔毀，保護人民生命財產**

01

基樁養生與試樁並確認通過後，在機組穩定運轉下，即展開後續的環梁施工，終於6月18日完成桶槽補強。

「台電員工約80人、包商約50人，130人不分日夜全心投入。國內有一家專門打地錨的營造公司更送來3套打鑽設備，因為機具每8小時必須冷卻，一套備用，24小時支援作業才能在最短時間內完成。」簡處長強調。

參照2號機的施工經驗，證明桶槽施作規劃完善且因應措施有效，1號機桶槽補強基樁工程自5月7日起展開非安全管線移除準備工作，5月12日正式進行運轉中基樁施工，並於6月18日與2號機同日完成桶槽耐震補強。

此外，核一廠1號機也安排6月6日-15日停機10天，進行機電設備、電驛、空心磚牆及控制室天花板等耐震補強工作。2號機則配合原訂停機大修期間4月28日-6月1日，完成各項補強作業。

另核二廠2部機經評估與努力下，都不需要額外停機，可以在運轉中進行補強改善，已於6月27日完成全部改善工作。

在台電公司與合作廠商齊心協力下，雖然歷經重重困難，最終以安全的分析結論、優良的施工品質、嚴謹的自主管理與工作實績等，在6月27日完成6部核能機組全部的耐震補強工程。各核電廠實際執行情形摘要如表1。

綜括本次耐震補強實際作業，僅額外增加停機36.5天，影響發電度數約7.5億度，替代燃料損失降至約34億元，且未造成燃料供應的困擾，對系統供電與台電公司年度營運的影響已經降至最低。

表1. 我國核電廠耐震補強作業實際執行摘要

	核一廠	核二廠	核三廠	合計
因應耐震補強額外停機天數	1 號機：10 天 2 號機：0 天 （配合原訂大修）	兩部機：0 天 （運轉中施工，不須額外停機）	1 號機：9.5 天 2 號機：17 天（大修後延續停機）	36.5 天 （不含大修）
補強項目（每部機）	機電設備：11 項 電驛設備：14 項 其他：2 項	機電設備：20 項 電驛設備：23 項	機電設備：23 項 電驛設備：2 項	
替代燃料成本	約 34 億元			

結語

全球現有31個擁有核電廠的國家中，只有日本與我國的機組設有「強震自動急停」的裝置，核一廠的強震自動急停是0.15g，核二廠、核三廠是0.2g，約等於芮式規模6的地震發生時，我國核電機組即會自動停機。

為因應福島事故的教訓，我國核電廠已建立7層深度防禦措施，未來各核電廠還將興建海嘯牆，徹底預防可能影響核能安全的可能性。

簡福添處長強調：「這次耐震補強作業完成之後，將我國的核能安全提高到更高的境界；符合國際現有三大核安標準—歐盟的壓力測試、美國NTTF法規要求，以及日本核安新基準，全世界目前只有我們做得到。」

據瞭解，本案歷經多次協調溝通，並在台電公司員工不眠不休的努力之下，才能順利渡過5月上旬供電的瓶頸，幸未對國內民生經濟造成顯著的影響，對台電公司營運的衝擊也降至最低。最重要的則是核一廠耐震能力提升至0.51g、核二廠0.67g、核三廠0.72g。目前我國地震震度分級為7級，第7級的強震約相當於0.3g；日本在東北大地震之後，地震震度分級增至8級，第8級相當於0.36g。經過第一階段耐震補強作業之後，我國6座核電機組都能禁得起強震的考驗。已充分展現出台電公司確保核安的決心與能力，回應社會與民眾對於核安的高度期待，相信也可做為核一、二、三廠未來申請延役的有力基石。



至於後續第二階段的耐震補強作業，台電公司已於101年7月起即著手進行，預計104年6月底前完成核一、二、三廠全廠耐震安全度評估，屆時將視評估的結果再採取必要的補強措施。

龍門核電廠建廠管制報導

文．編輯室

7月25日原能會函復台電公司對注意改進事項編號AN-LM-102-021第2次答覆的審查意見。要求台電公司補充高壓爐心噴灑（HPCF）泵修理後相關性能重評估與鑑定的廠家評估紀錄；此外GEH公司曾於本案相關客戶資訊需求（CIR）曾提出的限流器是否需要，以及其對HPCF系統管路阻抗影響等相關評估結果，亦要求台電公司一併說明。

7月31日原能會函復台電公司對注意改進事項編號AN-LM-102-011-2-2第1次答覆的審查意見。由於台電公司所提答覆並未就如何確認特殊門的GASKET符合規範要求，以證實其具有至少48個月壽命的測試方式釐清說明，因此要求台電公司補充說明。

7月31日原能會函復台電公司主動提報第54次龍門電廠FSAR第8章TPC-F-08-07修訂案的審查意見。要求台電公司於完成所有廠房相關管槽間距不符的清查，並確實說明其安裝位置無法進行改善的理由，以及不符間距要求的影響評估結果後，再提報原能會進行審查。

8月1日原能會函復台電公司對注意改進事項編號 AN-LM-100-037-1-13第3次答覆的審查意見。本次答覆雖然台電公司已針對檢驗簽署日期不符程序進行修正，考量未即時進行檢驗簽署的情形並非少數，因此有品管作業程序瑕疵，要求台電公司應再檢討以釐清本案的肇因，並據以提出具體有效「預防再發生之措施」。

8月6日原能會函復台電公司「龍門核能發電廠安全相關反應器廠房廠用海水系統（P26）泵出口逆止閥 CAP SCREW 材質不符設計圖面，致發生損壞情形」異常事件通報案的審查意見。台電公司已針對相關通報作業的缺失完成改善，因此同意台電公司所提的結案申請。

8月6日原能會函復龍門電廠「龍門（核四）計畫第1號機安全有關電磁閥功能測試報告書」（R0版） 的審查意見。由於台電公司未一併提報氣動閥（AOV）部分的功能測試報告書，因此要求補充提送。此外因相關測試作業的執行與原提報測試計畫不符合，一併要求台電公司澄清或檢討改正。

8月6日原能會函復龍門電廠「餘熱移除系統Helicoil螺牙護套檢證作業」第2次答覆的審查意見。本案由於台電公司未就螺牙護套如何符合ASME IWA-4320（a）有關應力限值的要求，提出相關分析評估依據，要求台電公司補充說明。

日本放射線醫療日趨進步

文・大西正夫　譯・朱鐵吉

X、γ射線放射線治療的性質差異

癌症的放射線治療可分為光子射線和重帶電粒子射線（又稱離子射線）治療兩大類，光子射線是電磁波，依其能量可分為X射線、加馬（γ）射線，和小放射源產生的光束，用於體外照射治療；而放射性同位素（Radioisotope，RI）適用於體內療法。粒子射線則有中子射線、質子射線、重帶電粒子射線等如表1所示。

重帶電粒子（heavy charged particle）是指質量數（即中子數與質子數的和）等於或大於質子（氫的原子核）質量數的帶電粒子，如P（質子）、α粒子、π介子，與碳離子等。

中子是通過核反應後得到的中性粒子，它們並不能自己通過靜電加速。質子的質量數為1，碳離子的質量數為12，電子的質量則為質子的1/1,800。也就是說，當電子的質量為1時，質子是它的1,800倍，碳離子則為電子的21,600倍。高速加速的電子和碳、白金（鉑）或鎢等元素碰撞時即可產生X射線。

布拉格曲線尖峰的高劑量集中性

重帶電粒子（質子或更重的離子如碳離子）穿越某些物質時可以忽略它在物質中與核的相互作用，造成的劑量隨深度分布，其形狀呈現所謂的布拉格曲線（Bragg curve）如圖1所示，質子和碳離子所產生的布拉格曲線尖峰具有高劑量的集中性，其最大的特點為：1.劑量集中性很高，2.劑量高之處釋出高能量，導致細

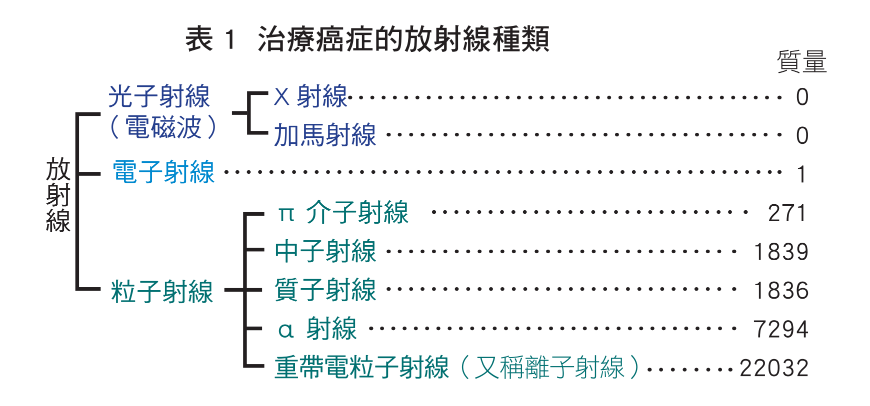


表 1　治療癌症的放射線種類

胞致死率高。根據圖1所示，4種不同的放射線進入生物體時的劑量分布，X射線和加馬射線在人體表面相互作用甚強，X或加馬射線在體表3至5公分處的相對吸收劑量（組織吸收的輻射能）為最高，但隨著深度增加而逐量遞減。然而當質子及碳離子射線進入身體時，起初狀態平坦，也就是對正常組織不會釋放出大量的輻射能，控制離子射線的能量使其深入至腫瘤組織呈布拉格尖峰，即高劑量（大量輻射能釋放）集中在腫瘤處殺死癌細胞，達到最佳的治療效果，且對正常組織不會產生太大的傷害。

細胞致死性的高低，跟生物相對效應（Relative Biological Effectiveness，RBE）有關，質子的RBE為X射線的1.1倍，離子則達2至3倍，因此離子射線比X射線對癌症一般的殺傷力強2至3倍。

根據圖1顯示，光子射線並不會產生布拉格曲線，離子在物質中穿越其行徑的終點處產生獨特且大量的游離，形成布拉格尖峰。1904年是由澳洲英籍物理學家威廉．亨利．布拉格博士（William H. Bragg）發現此劑量分布曲線，因此將其命名為布拉格曲線。1946年美國物理學家羅伯特．威爾森（Robert Wilson）發表論文強調，布拉格曲線經謹慎評估後應可應用於放射線治療。

1950年代開始致力於粒子射線應用的研究

1950年粒子物理研究實驗開始崛起，開發大型加速器並應用在高能物理學，同時也探討將粒子射線應用在醫學治療的可能性。1954年美國羅倫斯柏克萊國家研究室（Lawrence Berkeley National Laboratory）開創利用質子射線來做放射線治療實驗。1961年美國哈佛大學及麻州綜合醫院共同實施質子射線的醫療臨床研

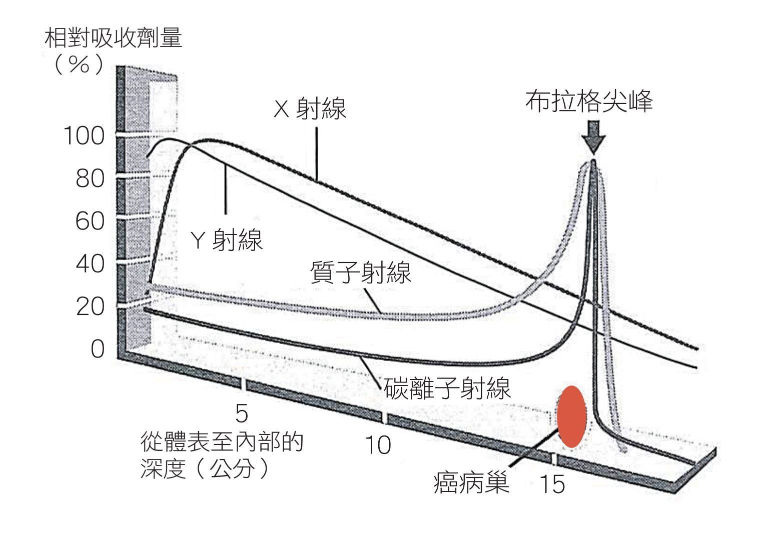


圖 1 各種放射線在體內的劑量分布
（日本筑波大學質子射線醫學利用研究中心）

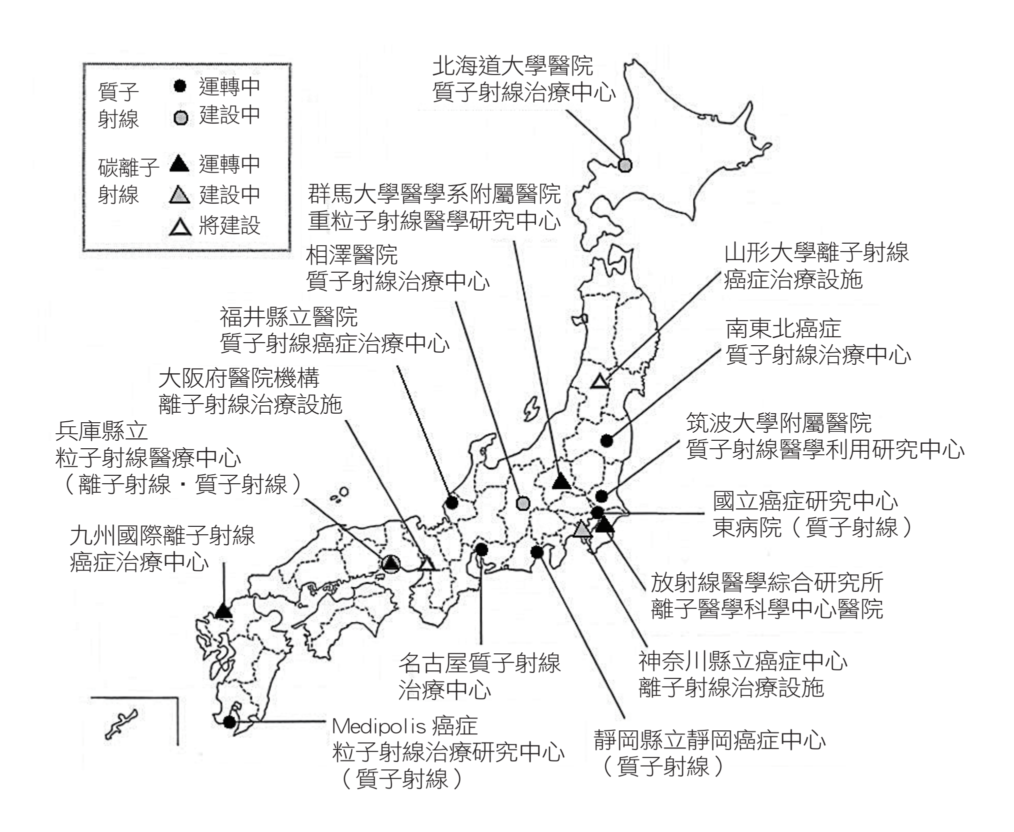


圖 2 日本粒子射線治療設施分布圖（2014 年 1 月止）

究。1979年日本放射醫療綜合研究所，開始使用迴旋加速器產生質子射線醫療的應用研究。

美國柏克萊國家實驗室運用氖離子射線，進行離子射線的治療，並在1977年至1993年間執行臨床研究。日本在1984年對「癌症10年綜合戰略計畫」撥出約325億日圓的經費，隨後7年間建立重離子射線治療加速器（HIMAC）以執行臨床研究，於1994年開始應用碳離子射線做臨床研究。目前日本在重帶電粒子射線治療方面的比重為全球最高。

日本現有11個設施運轉中

圖2為日本已在運轉及建設中的粒子射線治療設施分布圖，運轉中質子射線的治療設施共有7處，離子射線設施包括放射醫學綜合研究所則有4處。兵庫縣立粒子射線醫療中心（Hyogo Ion Beam Medical Center，HIBMC）擁有世上第一座可交換使用質子和碳離子射線兩種射束的裝置，自2003年開始主要以質子射線的治療為主。

日本群馬大學從2010年開始在群馬大學重粒子射線醫學研究中心（Gunma University, Heavy Ion Medical

Center，GHMC）做放射線治療，放射線醫學綜合研究所使用具有專利的重離子加速器，優點是裝置小型化，且建設與維修費用均為低廉的普及型式，初級設備的投資約需日幣130億圓。

持續開發的離子射線設施

位於日本佐賀縣鳥栖市的九州國際離子射線癌症治療中心（SAGA HIMAT），最近已開始做離子放射線治療，而位於橫濱市的神奈川縣立癌症中心（i-ROCK）則有2部離子束射線治療設施建設中。2014年1月上旬，日本大阪府醫院正式發布新聞，擬在成人疾病中心內設立離子射線治療部門，委託民間工程公司建設，於2015年開始興建，預定2017年完工，工程費用為日幣280億圓。山形大學也將開發下一代的離子射線治療設備裝置，工程費用約為日幣150億圓，預計2018年完工。

使用強度調控放射線治療技術（Intensity Modulation Radiation Therapy，IMRT），為近年來高精密度放射線治療的主流。而質子射線和離子射線治療設施，則是更新型、進步的加速器的代表，裝置數量一再增加而且趨向「普及」，是強度調控放射線治療技術的競爭對手。由於電視及週刊雜誌一再報導知名人士接受粒子射線治療的成效，使其知名度與數年前相比提高許多，癌症患者對粒子射線的治療則保持高度的關心。

輻射劑量高對癌細胞的殺傷力也高，離子射線從體表到標的物的途中並沒有放出巨大能量，所以對正常細胞的傷害就少，這是離子射線的特性。而使用光子射線（例如X、加馬射線等）進入體表時，大量光子和體表組織產生作用而釋放能量，往往光子射線到達病巢標的物時輻射劑量已減弱，所以照射時間必須要夠長才足以殺死癌細胞。但如果照射時間過長，體表皮膚組織將被輻射所傷害，例如破皮或深度皮膚組織發炎等症狀。因此只須稍加注意，離子射線仍是體內器官癌症最佳的放射線治療方式。

日本兵庫縣立粒子醫療中心目前已使用可交互產生加速的質子和離子射線做癌症治療，主要治療的對象為攝護腺癌、肝癌、肺癌、食道癌、乳癌、兒童癌症等。其中攝護腺癌的放射線治療，除了使用強度調控放射線治療，還有密封射源治療，粒子射線治療和上述的兩種治療方式成為了互相競爭的關係。

日本筑波大學質子射線醫學利用研究中心（Proton Medical Research Center，PMRC），結合鄰近物理研究所的高能加速器研究機構的大型加速器，於1983年開始利用其輸出的質子射線並用於臨床上。大學醫院和加速器研究中心在2001年時合併，並興建專用設施，至2013年已有3,713位病患接受質子射線的治療（如圖3）。

筑波大學質子醫學研究中心對肝癌的療效

肝癌的治療方法以手術與電燒為主流，肝臟是對放射線抵抗力很弱的器官，當X射線照射肝臟時，肝臟內癌細胞以外的正常細胞也會受到傷害。而照射肝臟有一定的風險，得肝癌者大部分有慢性肝炎以及肝硬化，本來肝功能就不好，受到放射線照射時肝功能會下降至更低。而

使用離子射線治療，離子射線能到達肝癌病巢處，釋放高劑量來殺死癌細胞，是很適當的治療方法。若肝癌病巢腫瘤個數為3個以內，且離消化器官較遠並確定沒有轉移，以及肝功能尚佳者，即可選擇做質子放射治療。若病巢只有1個、且體積小的話適合用電燒法，體積較大的腫瘤則進行手術切除。若病巢大於3公分以上，或是有糖尿病和心臟病等合併症而無法手術者，亦適用於質子射線治療。該中心每年約有100至120個肝癌患者做質子治療。表2為筑波大學質子治療肝細胞癌初期187例的自然存活率。

碳離子射線適合治療骨骼以及軟組織腫瘤

碳離子射線治療和質子射線性質類似，碳離子（碳的原子核）的質量比質子（氫的原子核）重12倍，對癌細胞的傷害性比質子射線大2至3倍的威力，對頭、頸部癌症及惡性黑色素瘤、骨骼和軟部組織腫瘤特別有效果。

日本放射線醫學綜合研究所（Medical Excellence Japan，MEJ），使用重離子射線治療加速器產生的碳離子射線治療的病人每年約有900人，主要是做乳房部分切除手術者的放射線照射，以防止癌細胞轉移與再發生，加上化療後治療成效非常好。

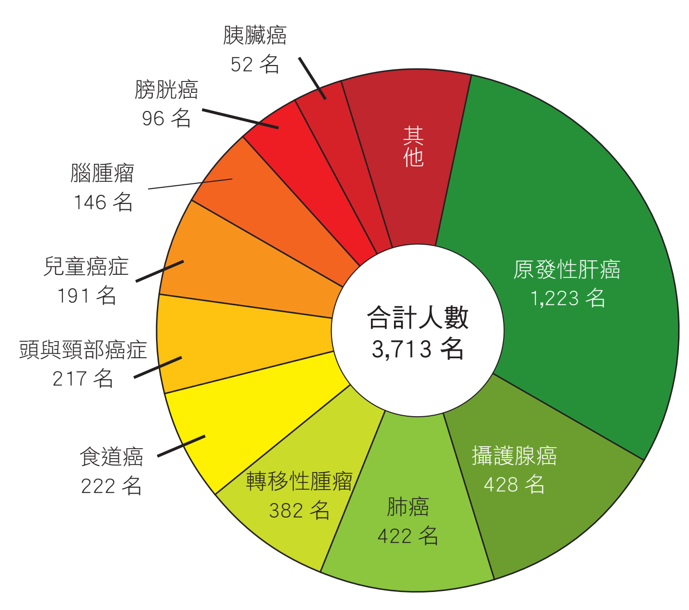


圖 3 筑波大學質子射線醫學利用研究中心的患者疾病種類及數目（1983 年～ 2013 年 12 月）

表 2 筑波大學質子治療初始肝細胞癌症 187 例病例的自然存活率

2 年	5 年	10 年
84%	51%	24%

＊根治手術及電燒等標準治療的比較，成果大略相同

世界上已超過10萬人接受粒子射線治療

根據粒子治療合作組織（Particle Therapy Co-operative Group，PTCOG）的統計，至2013年3月止，全世界已在運轉中的質子治療設施共有36座，以日本及美國為最多，興建中或計畫建造中的設施共有24座，數量逐年往上攀升。

美國放射線腫瘤治療學會（ASTRO）的新興技術委員，對質子射線治療的有效性綜合整理報告指出，目前以粒子射線治療眼球惡性黑色腫瘤效果甚佳，至於對小孩腦部腫瘤的治療是否較光子射線為佳，需要更多的數據來佐證。根據攝護腺癌治療效果的報告，並沒有比光子射線治療還好的科學數據。而質子射線的治療設備比強度調控放射線治療昂貴許多。高檔的設備比起光子射線的治療效果，兩者的效益有待謹慎評估。ASTRO於2013年的聲明指出質子射線治療的有用性，臨床試驗的持續評估有其必要。

雖然質子和離子射線治療設備非常昂貴，但自1953年至2013年為止，全世界接受治療的病人已超過10萬人，治療效果非常良好，今後各國勢必逐漸增加此項設備來造福癌症病患。鄰近的日本其治療設備密度為全球之冠，其治療與臨床研究成果，對治療癌症會有很大的貢獻。

資料來源：

1. 大西　正夫,“進化する日本の放射線治療－粒子線治療（上）” Energy Review March 2014: p.58-59.
2. 大西　正夫,“進化する日本の放射線治療－粒子線治療（中）” Energy Review April 2014: p.54-55.

北部大缺電解決方案

文・陳立誠

據報載，為應付廢核新局召開的第4次全國能源會議，主題訂為「電從哪裏來？」。但電的供需是一個地區性問題，台灣供電分為北、中、南三區，所以要準確的討論應分為北部電從那裏來、中部電從那裏來、南部電從那裏來3個子題。

台灣北部是全國首善之區，全國2,300萬人口中，北部（新竹、宜蘭以北）占1,000萬人，超過全國人口40%，用電也占40%。以全台而言，北部最為地狹人稠，設立電廠極為困難，北部不足的電力一向是靠南電北送。今年北部供電能力為1,388萬瓩，尖峰負載為1,358萬瓩。吾人可預測到2025年北部電力的供需情形。

依規劃，未來10年內，北部將有4座電廠共10部機除役，北部將喪失584萬瓩的供電能力。下表列出未來10年（2014-2023），北部除役機組。

機組	裝置容量	除役年
林口	2x30 萬瓩	2014
協和	4x50 萬瓩	2017-2023
核一	2x63.6 萬瓩	2018, 2019
核二	2x98.5 萬瓩	2021, 2023
總計	584 萬瓩	2014-2023

未來10年北部確定會新增的機組只有目前正在興建中的林口3部燃煤機組（3x80萬瓩 =240萬瓩）。

今年北部用電尖峰為1,358萬瓩，未來10年只要電力每年以2.5%的緩慢速度成長，北部用電於2025年將較目前增加31%（423萬瓩），尖峰用電將達1,781萬瓩。

北部目前供電能力為1,388萬瓩，10年後除役機組584萬瓩，加上新增機組240萬瓩，10年後北部供電能力為1,044萬瓩，供電缺口為737萬瓩。

核一、核二延役可供電324萬瓩，核四2部機可供電270萬瓩，這3座核電廠全力運轉可提供594萬瓩電力，北部供電缺口將降為143萬瓩。解決之道是立即動工興建延宕多年的深澳燃煤機組，完工後可增加供電能力160萬瓩。

有人寄望大潭電廠增建燃氣機組以取代核能機組，但大潭新增4部機裝置容量為288萬瓩，與核四2部機相當（270萬瓩）。尚低於核一、二的裝置容量（324萬瓩）。新增大潭機組不足以取代核一、二、四共594瓩的裝置容量。由經濟層面考量，核一、二每年發250億度，以燃氣電廠取代（去年燃氣與核能每度價差2.85元），每年發電成本將增加700億元。以氣代核絕不是正確的能源政策。

解決「北部電從哪裏來」有現成及唯一的答案：核一、二廠延役，核四廠完工商轉，深澳燃煤機組立即動工興建。

答案非常明確，只看政府決心。

（本文作者為吉興工程顧問公司董事長）

我能為國家做什麼？

文．林基興

1961年，美國總統甘迺迪就職的名言「不要問國家為你們做些什麼；要問你們能為國家做些什麼」，豪情壯志讓人低迴不已。今（2014）年7月20日在台灣師範大學，美華核能協會會長江仁台演講時，數次提到此名言，聽眾大部分為年輕人，頗有暮鼓晨鐘之效。

愛國志士籌辦能源研討會

江仁台為美國伊利諾大學核工博士，曾任美國奇異（GE）公司主任工程師、法國亞瑞華（Areva）公司指導工程師，任教加大柏克萊分校與佛羅里達大學，現為美國電力研究所顧問，在能源界30多年經驗。他身在異鄉而常心繫台灣，看到國內民眾示威等反核情況，就想「力挽狂瀾」。

今年5月，他去找教育部長提出能源教育計畫，後來因故而無教育部資助，他就自籌經費辦理，也得到美華協會、清大、台師大等幫忙。結果7月19日在清大、20日在台師大舉辦「能源科學教育研討會：新知識、新希望、新願景」。3位講員：江仁台博士談「多元的能源與環保」、美國田納西州曼菲斯大學教授



▲清大會場外合影，與會者美華協會江仁台會長（中）、清大梁正宏所長（右3）等貢獻甚多（2014年7月19日）

邱哲明談「能源與地震」、筆者談「能源與國家發展」。後續節目是放映電影「潘朵拉的承諾」，在清大場由清大工程與系統科學系主任葉宗洸教授主持，台師大場則由泛科學網（PanSci）專欄作家廖英凱先生主持。

江仁台演講開頭即指出，「事實」異於「意見」、「認知」異於「現實」；能夠體認其差異的，將易於成功，相反地就易於失敗。應是因為許多國人對

各式發電利弊的認知有誤，讓他有感而發。

為何台灣需要核能？

3位講員主要談核能對台灣的重要性。首先，比較各式能源的風險，各種發電方式所產生的二氧化碳、二氧化硫、氧化氮量，如下表所示，以燃煤最多，最低的是核能發電。二氧化碳會使地球變暖，二氧化硫與氧化氮會導致酸雨。

發電方式	二氧化碳（磅／度）	二氧化硫（磅／度）	氧化氮、二氧化氮（磅／度）
燃煤	2.249	0.013	0.006
燃石油	1.672	0.012	0.004
燃天然氣	1.135	0.0001	0.0017
核能	0	0	0

在歐洲，每年死於煤、油及天然氣工業的事故超過500人。全世界每年死於因燃燒煤導致呼吸道疾病者超過17萬人。

製造太陽能板的過程十分劇毒，釋放出多種對人體健康有害的汙染物。安裝太陽能板也牽涉到兩種最危險的行業，屋頂作業以及電路作業。統計屋頂作業及太陽能板安裝作業數據，發現在這行業裏，每兆瓦小時（TWh）的發電量，會造成2人死於自屋頂掉落。核能發電每兆瓦小時的發電量，只造成0.05人死亡（含括所有的原因，甚至爐心熔解）。

至於核電，60年來核電運轉，全球有3次嚴重核電事故。三哩島2號機事故，沒有造成人員死亡，而且附近民眾並無任何可察覺到的健康問題，因此三哩島1號機仍在正常運轉。車諾比核電廠是俄式，台灣的核電廠是美式，車諾比核災不會在台灣發生。福島事件中，沒有1個人因為輻射照射而死亡。2013年世界衛生組織《健康風險評估》指出，99%居民的外部劑量低於10毫西弗，99.9%居民的內部劑量低於1毫西弗。因此，電廠附近的人會有長時期輻射健康問題是微乎其微的。

補充說明，1西弗相當於1公斤的人體經X光照射後，吸收1焦耳的輻射能量（1公斤人體的體溫將升高約0.24℃）。最低安全標準是，每人每年接受的輻射劑量不能超過50毫西弗，而且一年中任何一季，人體接受的輻射劑量不能超過25毫西弗。人們每年平均受到的背景輻射劑量約為3.012毫西弗，包括自然輻射劑量2.40毫西弗和人造輻射劑量0.612毫西弗。

共有的悲劇

世界化石能源有限，原料（煤、油、氣）實應留給醫藥民生用，例如今天各式藥品、維生製品、衣服、管線等，若燒掉當能源，猶如「焚琴煮鶴」，浪費資源。

比較各類能源發電成本與外部社會成本（環境污染等），例如，每單位

電量所產生的二氧化碳，結果可知化石燃料為當今全球暖化禍首。今年，聯合國跨政府間氣候變遷小組（IPCC）發布報告指出，若人類持續目前作法，本世紀末升溫3.7-4.8℃，若不儘快懸崖勒馬，包括海平面上升等麻煩就跟著來。但是各國自有如意算盤，窮國與富國相互指控利益糾葛，現實情況是繼續大量排放溫室氣體，這就是「共有的悲劇」（tragedy of the commons，地球是共有的，各國「自私地」予取予求）。

先進國的核能近況

美國有5部新核電機組正在興建，原有104部運轉中核電機組，最近2年有1部因經濟原因、4部因重大設備故障修復不符合成本，而決定永久停機，將變成99部，一直要等到2015年底、2016年初Watts Bar 2號機加入才能再恢復到100部。美國在三哩島事故後，初期民間反核聲浪很高，但經核管會、能源部、美國核能學會與核電工業界30多年共同努力下，核能安全大幅改善，民間反核聲浪漸平息。即使在最近發生福島嚴重事故後，美國核電運作一切如常，核電廠普遍提昇功率（最高至原功率的120%），已有75%核電廠延役20年。

核電廠提昇功率及延役，成本很低；在美國能源部、國會及總統的支持下，核管會核准核電廠增加功率及延役，是促進美國經濟持續成長，造福美國大眾的德政。今年6月2日，美國總統歐巴馬宣布，推動美國環境保護署的一項提案：在2030年之前，把美國電廠的二氧化碳排放量，按2005年的標準減少30%。瞄準的目標是全美碳汙染的最大來源，即600多家火力發電廠。

2012年德國電力為化石燃料70%、核能18%、風力7%和太陽能5%。德國雖產低價煤填補廢核的部分缺口，但再生能源成本很高，2013年德國住宅電價約為台灣的4倍。德國表面上決定「非核家園」政策，但可從接壤的法國購買不足的核電（法國79%為核電），又受到俄國特別照顧，輸入廉價燃油和天然氣。為解決再生能源高比例影響電網穩定，德國投入200億歐元巨資更新電網，但受民眾抗爭而建置進度嚴重落後，昂貴電費導致產業外移與員工失業。

英國風險專家所做能源風險的研究，舉福島核災中因海嘯死亡的人數比核災多得多的例子，認為氣候風險遠大於核能風險，因為氣候風險無法控制，但核災的風險卻可以控制。英國在福島核災後，支持核電的民調不降反增，就是因為大多數的英國人，覺得氣候變遷的風險，大過核災的風險。英國的環保人士、生態學家，也大都支持這種看法。目前，英國正在招標建新核電廠，英國對GE製造、與龍門核四廠同型的進步型沸水式核反應爐（ABWR），很有興趣，很可能會到日本ABWR各廠與龍門核四廠考察、取經。

法國在深受1974年能源危機之苦後，大力發展核能發電，目前核電占法國總發電量的79%，還賣電到因減核電而缺電的德國賺錢。因為大量的使用核電，法國是排放二氧化碳最低的工業國。

台灣的能源近況

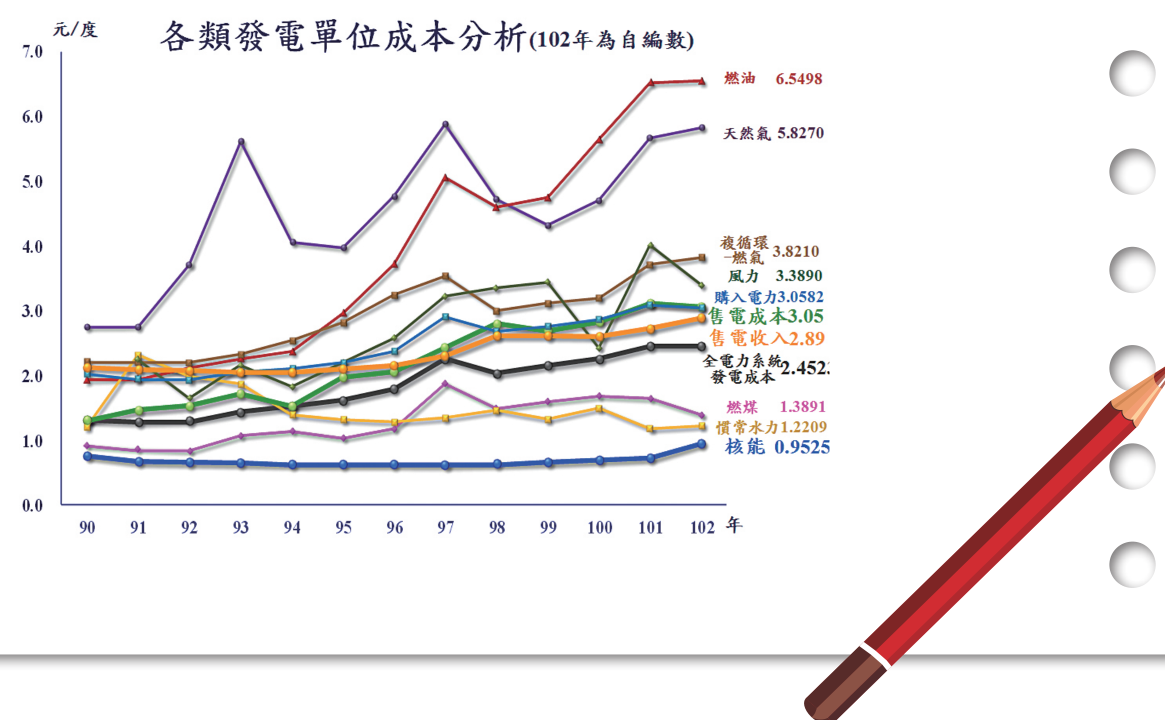
2012年，台灣電源為燃煤40.7%、燃氣30.2%、核能18.4%、太陽能與風力3.4%、汽電共生3.4%、燃油2.5%和抽蓄水力1.4%。台電每度電的發電成本，核能0.95元，天然氣發電5.82元是核能的6.1倍，而每度電成本高達6.54元的燃油，更是核能的6.8倍，台電因此盡量利用核能，而閒置其他發電機組。在台灣，由於天然氣須加上液化費及長途運費，無論美國產地的天然氣費用多低，加液化和長途運費後，天然氣在台灣的價錢比美國就高出許多。此外，台灣是島國，還有短期儲存量（只1週）和戰時運輸的關鍵問題。

我們需有自知之明：包括98%能源仰賴進口、島國獨立電網又缺邦交、二氧化碳人均排放全球第18名、亞洲第一。一旦設置太陽能，土地即至少20年無法他用，若廣設，影響糧食安全、生態等。太陽能電池含硫化鎘、製程氫氟酸等劇毒。再生能源電若逾20%，供電不穩，不能當基載電源。我國風車因噪音、近距等，無法施工。

台灣核電的安全與效益

核電的安全是可以控制的，核廢料是可以處理的，核電的發電成本是最便宜和穩定的，核電不會排放二氧化碳。台灣已經商轉的核一、核二、核三廠，商轉的安全紀錄良好。當年，核一、核二、核三都是台灣成功的大建設，30多年來，3座核能電廠所發的廉價電力，對促進台灣的環保和經濟發展貢獻良多。

核四採用進步型沸水式反應爐的安全功能包括：1.反應爐提高了爐內泵的性能，同時省略了大型外循環泵。2.全數位化反應爐的保護系統，確保高水



準的可靠性，簡化了安全檢測和應變能力。3.全數位化反應爐控制系統使得控制室可容易、快速的控制電廠的營運和流程。4.改進緊急爐心冷卻系統，提供對預防事故發生非常高水準的保障。

嚴重事故後，反應爐將立即停機。衰變熱將被餘熱移除系統排出，緊急爐心冷卻系統將啟動。萬一電廠停電，進步型沸水式反應爐可完全自動化解沒有冷卻水的事故，而且運轉員可以3天不需操作。3天內，運轉員只須補充緊急冷卻系統供水，這些改進使反應爐明顯的比以前更安全。美國奇異公司的安全度評估顯示，爐心損壞事件發生的或然率不超過600萬年一次，進步型沸水式反應爐爐心損壞機率為1.6×10^{-7}。核四進步型沸水式反應爐的優點包括：1.核四進步型沸水式反應爐比核一沸水式第四代和核二沸水式第六代更安全。2.核四進步型沸水式反應爐的發電功率（1,350MW）比核二沸水六式發電功率（985MW）與核一沸水四式（636MW）能提供更充裕的電力供應。3.滿足台灣北部電力的高需求。

受「非核家園」思維的影響，台灣目前核四廠1號機計畫封存、2號機停建，核一、核二和核三廠所有的6部機組，計畫在運轉發電40年後，全部不再延役。技術上，各機組提昇功率及延役20年的商業運轉毫無問題。不再提昇功率及延役，完全是為了達成「非核家園」的政治決策。若延役20年以6部機組平均每年發400億度電估計，可以替台灣額外創造至少2兆新台幣的利益，還能大量減排二氧化碳。若提昇功率，可以創造更多的額外利益。若急廢核電，台灣為島嶼獨立電網，無外國電力可支援。根據日本停用核電的經驗，限電將難以避免。急廢核電將導致物價因電價大幅上漲而飆升，民眾購買力大幅下降，對社會民生大不利。限電將造成企業競爭力衰退，外資恐裹足不前，有能力外移的產業將外移，台灣的經濟前途堪憂。

核四廠是國家的重大建設，投資巨大，已接近完工。當年核准興建時，是經過慎重評估的。巨大投資，都是民脂民膏，除非有重大缺失，完全無法補正，否則不宜封存或廢棄。核四若商轉，不但可避免投資2,838億元建廠的浪費，每天還將增加約6千萬元的收入，除可維持低價和穩定的電源，還能大量減排二氧化碳。

最佳能源與環保組合

台灣溫室氣體的總排放量，從1990年的138.3百萬公噸二氧化碳當量，上升至2010年的274.7百萬公噸二氧化碳當量，約成長98.6%，其中二氧化碳是最大宗，約占96.48%。台灣目前的能源與環保政策是：確保核安，穩健減核，打造綠能低碳環境，逐步邁向非核家園。由於台灣要減核，而太陽能與風力發電難以大量開發，無法取代核電，打造綠能低碳的環保目標將無法達成。因此，民國91年公布的「環境基本法」第23條文：「政府應訂定計畫，逐步達成非核家園目標…」明顯已過時。為達到低碳的環保目標，建議「環境基本法」第23

條文應改為：「政府應執行知核計畫，維持合理比例的核能發電，減少火力發電二氧化碳的排放量，以保護環境，降低氣候變遷的風險。」

為避免排放溫室氣體造成地球溫度危險上升，未來40年內，需要減少80%二氧化碳排放，但同時又面臨2-3倍全球的能源需求。因此，需要能產生大量「零碳」排放的廉價能源，目前看起來核能是唯一辦得到的能源。

台灣島缺乏煤、天然氣和石油資源，電網獨立，發展再生能源既受制於氣候和土地條件不穩，實在沒有放棄核電的條件。何況核電造成死亡率的風險遠小於煤、油及天然氣工業的事故和燃煤的風險，甚至小於太陽能發電的風險。核電的發電成本是便宜和穩定的，而且核電幾乎不會排放二氧化碳。就能源風險、經濟發展和環保減碳三方面綜合考量，台灣的能源和環保政策，在加強核電安全監督的原則下，宜參照美國的能源與環保多元化，理智而且負責的維持適度的核能發電。將國家的能源和環保政策的目標，由「非核家園」改為「知核家園」，讓核四廠早日商轉，並將核一、核二和核三廠商轉延壽20年，以保障「不限電、維持合理電價、維持減碳承諾」的三大民生需求，及提高台灣的競爭力。

國人為何不信核四廠址耐震？1965-1992年間，國際原子能總署與美國貝泰工程顧問公司等不同機構7次地質調查，均確認附近屬緻密堅硬岩盤。國人就是自卑，認為日本會發生福島事故，台灣更會發生。為何媒體一再傳播負面訊息？英國皇家學會指出，影響民眾風險認知的關鍵是「恐懼」，國人不該受到誤導（主要來自媒體）而恐慌。因此，台灣需要設立「科技與媒體中心」，提供民眾正確的科技知識。

經濟學家的解析

在台師大場，中華經濟研究院梁啟源董事長致詞指出，廢核四對台灣影響包括建造費2,838億元損失，台灣每一家庭負擔近5萬元；電價上漲10%、就業人口減少25,000人；若加計燃氣取代核一、二、三廠，電價將漲40%以上；2018年備用容量率將降至6.6%，而致停限電夢魘。若核四不運轉，到2019年核一除役時，淡水河以東的大台北地區幾無電廠，2017年357萬瓩供電缺口，將超過中北輸電幹線250萬瓩的可靠送電能力。

零核影響日本經濟，包括貿易赤字擴大，由2010年順差6.6兆日圓變為2013年貿易逆差11.5兆日圓；2014年6月東電的「標準家庭電量」比2011年上漲38%。至於德國也受停核傷害，2013年其再生能源占比22%，電價大幅上漲而為台灣4倍；2011年各地停限電超過3分鐘的統計次數多達20萬次；2011年宣布減核後，德國煤炭用量已增加5%。



▲「能源科學教育研討會」在台師大會場（2014 年 7 月 20 日）

反核者認為核四太接近大台北地區，而責備台電無知，其實，美國印第安那點（Indian Point）核電廠距離紐約市約38.4公里，法國核電廠40公里內城市有17座，這些核電廠並未在福島核災後被政府要求關閉。

福島核災後，全世界擁有核電廠的31國中，除德國、比利時及瑞士3國外，共餘28國仍選擇發展核能，包含曾發生核災的美、俄及日本，也包括我們最大競爭對手國韓國。韓國核能占發電量比重約36%，大於台灣，這是韓國在近年能源價格大漲時，工業用電價格仍很低主因。2025年韓國核電比重將維持36%以上，屆時，若核四運轉，台灣核電比重為5%，若不運轉則為零。南韓因使用核電享低碳、低成本及穩定電源，台灣競爭力將大幅惡化。

能源研討會聽眾的反應

在清大會場中，有位王小姐質疑輻射屋、影射核四危險，此為反核者多年的論調。2000年，反核的民進黨執政而要廢核四，礙於局勢召開「核四再評估會議」，會中有詹教授宣稱「住在輻射鋼筋建物中，導致甲狀腺癌的機會為一般國人的6倍」等傷害，當時原能會主委夏德鈺澄清指出，1996年，衛生署曾邀

請中華民國公共衛生協會等單位，判讀其居民健檢結果，認為並不能現在就下結論確定曝露在輻射之下與癌症間的關係，而該判讀會議的結論是「目前仍未發現對健康有重大危害」。會場中，有原能會蘇前主委答覆王小姐，當年，他請美國專家幫忙評估輻射屋住戶的健康效應，但專家指出，其輻射劑量低，不值得擔憂。

另外，有反核王教授於大作〈核四興廢之建言：在台灣使用核能的健康風險〉文中，認為由於輻射廢料處理不當等，導致1,600戶的輻射鋼筋屋；《廢止核四評估—民進黨立院黨團環境政策小組》報告中提到，「雖然沒有直接的證據顯示這些輻射鋼筋來自核電廠，但以其輻射劑量之高，總難免令人有此聯想。」這也是胡亂影射。2012年，旅日作家劉小姐在媒體表示，核電廠拆卸後的大量輻射鋼筋，流到市場變成鋼筋，讓台灣人「身在輻中不知輻」。2011年，高雄有放射線照相儀器遺失；2007年也有同樣儀器被竊，最後在廢鋼鐵廠找到。上述詹教授宣稱「很多的證據顯示，是從台電1983年時大量販售污染鋼筋給桃園的欣榮鋼鐵廠604噸」；曾任職美國核管會的廖本達博士嚴正駁斥，1983年，台電曾問廖是否需要更換核能電廠循環水路的管子，廖回覆說，當時美國只有2個廠換管子，台電還不必換。輻射鋼筋受害者協會理事長王玉麟與廖的岳父是親戚，1995年，廖回台後，王玉麟來問廖輻射鋼筋事宜，廖告訴他，台電賣出的那604噸鋼管來自林口火力發電廠，沒有輻射。

中午，王小姐說筆者服務於行政院，帶著說服民眾的任務，聽不進她的質疑，筆者回答她，科學家就事論事，無關官署。她又說，此次會議是台電資助，筆者勸她不要隨便栽贓，此次美華核能協會捐錢也自費辦理，我們均自願志工。

在台師大會場，貢寮自救會的楊木火先生質疑核四安全。江仁台演講時，特地指出大家要知核，而非盲目擁核或反核，反核的朋友也是我們的同胞，大家都在同條船上，若核電廠不安全大家受害，核電廠安全運轉，電價廉又減碳大家受益。感謝反核的朋友來參加，因為他們的關心及理性的反核，使核電廠運轉更安全。楊認為江曾在奇異公司工作過，請教核四數字儀控與下方斷層的疑慮，江回答自己不是這兩方面的專家，無法提出這兩方面的細節分析，不過倘核四數字儀控與下方斷層真有問題，奇異公司與原能會核管處是不會放行的。另外，中華核能學會黃秘書長和核四廠女儀控工程師，回答楊的質疑，但楊不滿意。休息時，江過去與楊溝通，說會協助他解決疑慮，並交換電郵。



▲ 江仁台會長晉見馬英九總統談核四（2014 年 7 月 25 日）

江仁台晉見總統

就在能源研討會後，7月25日，媒體出現新聞〈核能爭議，馬英九：再生能源短期不可能取代核能〉，原來是馬英九總統單獨接見美華核能協會會長江仁台，之後總統府發布新聞。總統表示，核能問題在台灣，「不只是專業問題，也是政治問題」，但無論是什麼問題，一定要有基本共識，他常常感覺民眾討論相關問題時，有一些基礎的認知及知識必須要一致，否則討論不下去。總統強調，核能議題不管怎麼做都有風險，一旦做了決定，要有決心承擔風險，「不能希望做這個決定，又希望沒有風險」，這是做不到的。

總統指出，核四目前暫時封存，把安檢完成，將來若要放燃料棒，必要時再進行公投，他強調，努力建立共識的過程，專家可以扮演很好的角色，否則發生問題，民眾會怪政府沒有把問題講清楚。他還提及，日前曾和大學生聊天，詢問在場有誰睡覺不是整晚開冷氣？只有一、兩個舉手，「這代表不可能讓民眾在這麼熱的夏天改變生活與用電習慣。」他又說，《環境基本法》已將非核家園訂為長期目標，目前台灣再生能源的發展，太陽能裝置容量是過去的40倍、風機也裝了319架，但不能無限制增加，因此「不可能在短期內由再生能源取代核能」。總統也提醒，目前日本九州川內核電廠已通過檢查，今年秋天可能會重啟運轉，法國今年6月也宣布不會放棄核能在能源轉型中的角色，美國也是繼續發展核能；今天真正的問題是溫室氣體，「減碳比廢核更重要」。

我們為國家能源盡力

幾個月來，包括美華核能協會、中華民國核能學會、清大、核能流言終結者等海內外關心核能議題者，經常協商如何幫助我國核能發展，例如，舉辦上述能源研討會、推出《美華核能微言集》（至今年8月中已刊出27集）、聯名投書澄清各式誤解等；試舉3例如下。

反核作家在台師大誤導科普寫作班

今年7月底，台師大的「科普寫作人才培訓工作坊」邀L作家，演講〈原來核災離台灣這麼近：福島核災還是現在進行式〉。科學團體「核能流言終結者」的創辦人黃士修聞悉後，為文〈當我們的科學教育被偽科學滲透〉，寄給各相關單位，該工作坊邀請他簡短演講，他指出「即使在福島核災3年後的今天，仍然有不少人相信福島還是一片死城。其他還有核電廠會爆炸、核廢料無法處理、核災輻射汙染已經讓大量民眾罹癌等，各式各樣天馬行空的說法，一再觸動許多人心中的深層恐懼。當各位聽到那些說法的時候，第一反應想必也是感到害怕，迫不及待回去告訴親朋好友核能和輻射的危險性，甚至決心投入反核

運動。但真相是：福島核災至今無人因輻射而死亡，大量的科學報告證明福島核災外洩的輻射劑量幾乎不可能致癌；核廢料早已有成熟安全的處理方法，核電廠更不會如核彈般爆炸，福島式的核災也不可能在台灣發生；核能發電造成的死傷遠遠少於火力發電，甚至比再生能源還低。也就是說，每當反核運動取得成功，就等同於多處死一些人。」

前清大教授的荒謬數據

8月3日，前清大P教授與「台灣關鍵數據網」合作，舉辦「核電議題工作坊」，試圖集結寫手撰寫中文維基百科的內容。因他去年出書《有核不可》，內容多錯，「核能流言終結者」和「台灣能源」兩網站推出30篇文章解析其誤導；清大李敏教授與同好就前往釐清。果然，P教授弄錯燃料成本：「根據台電102年數據推算，則每度發電的燃料成本是燃油59.9元、核電7元、天然氣5.79元、煤4.75元。」但台電的正確數據是每度油6.54元、核0.95元、氣5.82元、煤1.38元。原來他把台電的燃料成本數據，又除以各燃料成本占比而得。

釷核電是天邊的彩虹

8月9日，李登輝基金會舉辦「國際能源論壇」，邀請物理學家葉恭平與哈格瑞夫（Hargraves），來台介紹釷核能發電。兩人皆認為釷能源未來5-10年可完全取代以鈾為原料的核能，而為台灣該努力的方向。李前總統反對現在以鈾為原料的核四，但支持以釷發電的核能。筆者投書媒體澄清：美國曾在田納西州的橡樹嶺國家實驗室，興建釷燃料熔鹽反應器，從1965年起運轉；但在1973年，美國政府叫停，倒是鈾燃料發電到今天仍為主流。但一些國家仍在研發釷電，較具野心的包括印度與中國；但此兩國何時試驗成功就難說了，至於下一步的「商業化」，包括發照等，則更將是多年後的事。現在的台灣不需要「釷電推銷員」。其實，2010年在巴黎，國際第四代核電工作小組已經聲明，使用釷核電的時間約為2050年。對於台灣而言，要購買建造釷核電廠，在20年內可說還很困難，畢竟高度管制的核電廠，需要多年的商業化研發、測試、修改、發照。即使中國和印度號稱完成運轉測試，台灣願意購買他們的產品嗎？再加上必須適合本土環境的設計、建造、測試、發照，台灣要等多年才有釷核電可用。除了癡癡地等，台灣這些年要用什麼電？至今，口袋深的大國尚造不出釷核電廠，台灣有何資金、人才、設施研發、建造釷核電呢？因此，用釷發電還只是天邊的彩虹，我國不要為此遙遠彩虹而丟棄手中的玫瑰（核四）。

（本文作者為公益科學月刊社前理事長）

日本川內核電廠確定可重新啟動

文・編輯室

日本原子力規制委員會（NRA）已批准川內核電廠1號機和2號機反應爐設備的變更，朝向重新啟動機組更近了一步。

原子力規制委員會9月10日宣布，已批准九州電力公司進行修改這2座機組的反應爐裝置，認為川內電廠應用的設計和安全功能已符合原子力規制委員會在2013年7月公布的新安全標準。也指出「這項許可是針對運轉商提出反應爐與相關設施的基本設計，所進行的管制步驟。」

原子力規制委員會表示，經過110多個小時、62場檢討會議，審查九州電力公司18,600頁的文件，並進行實地調查、安全評估之後，才批准機組基本設計的申請。該會將評估草案公布後，蒐集公眾的意見並納入考量。

九州電力公司在7月中旬接獲原子力規制委員會批准川內1、2號機組重啟的草案，這意味著原子力規制委員會認為這2座反應爐，以及整個核電廠可以安全運轉，已經符合審核程序的主要部分。川內核電廠在重新啟動前仍需進行2項較小的管制批准程序。

原子力規制委員會說，現在將審查反應爐與相關設施的詳細設計與施工，以及運轉安全計畫，包括和事故應變有關的組織制度與程序。這最後的階段，極可能在今年年底前完成。



▲川內核電廠 2 座機組（圖片提供：九州電力公司）

一旦這些步驟完成後，原子力規制委員就可以正式批准機組恢復運轉。九州電力公司則負有重要的社會責任，以獲得鹿兒島縣政治領導人的非正式批准。然而，還是要看日本聯邦政府對核電廠能否運轉說了算。

川內核電廠1、2號機分別於1984年及1985年開始運轉。2座機組在九州電力公司的總供電當中雖然占不到1成的比例，但是若能重啟，對西日本的供電將有所幫助。

在2011年福島事故後，日本對於核能的安全措施已經喪失信心，48座可運轉的反應爐一直無法提供服務。在過去將近一年另有18座反應爐申請安全評估，目前仍在審查階段。原子力規制委員會表示，高浜電廠3、4號機將是下一個進度最快的審查案。

資料來源：
http://www.world-nuclear-news.org/RS-Final-restart-nears-approaches-for-Sendai-1009144.html

日本持續計算反應爐停機的成本

文・編輯室

日本對進口化石燃料的依賴，在等待重啟反應爐許可的這段期間仍然沒有減少，對該國溫室效應氣體的排放與貿易赤字造成非常大的影響。

溫室效應氣體排放持續上升

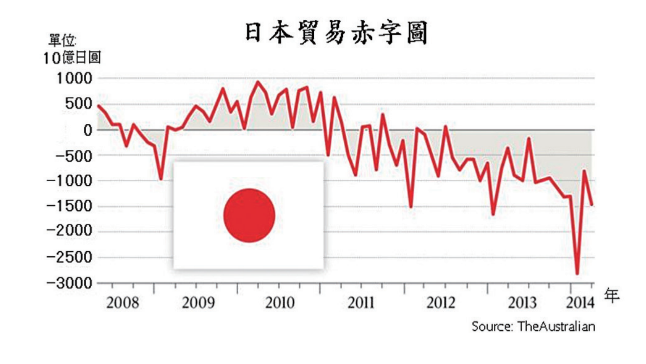
日本在過去3年間大幅增加化石燃料的使用，使得二氧化碳排放量也隨之上升。因發電過程所產生的二氧化碳排放量，占國家2012年碳排放總量13億4,300萬噸的36.2%，2011年占了總排放量13億700萬噸的33.6%，2010年則占總排放量12億5,600萬噸的30%。

貿易赤字

根據日本經濟產業省（METI）發表的「2014年能源年度報告」顯示，隨著核電廠的停機，日本電力於2013年對進口化石燃料的依賴度達88%，與2010年（2011年311福島核災之前）的62%相比，上升了將近3成，而日本在幾乎所有核電機組停止運轉下，2012年對化石燃料的進口最高竟達92%。

日本於2012年時能源自給率只有6%，主要從水力與再生能源發電所獲得。位於福井縣的大飯核電廠的兩個機組為311福島核災後唯二獲許可、但僅運轉數月的核電機組，使日本核能發電只占2014年能源需求的0.6%。與發生福島核災前的2011年相比，當時日本有近20%的能源自給率，而核能占其中的15%。

日本2013年在化石燃料的購買上花費將近3.6兆日圓（約新台幣1兆），來彌補核電廠停機造成的電力缺口，這筆額外且龐大的費用使日本2013年的貿易赤字高達11.5兆日圓（約新台幣3兆），也導致日本經濟快速衰退，從2010年的貿易順差6.6兆日圓（約新台幣1.7兆）、2011年轉為逆差負2.6兆日圓、2012年負6.9兆日圓、到2013年跌至負11.5兆日圓（約新台幣3兆）。與發生福島核災前的2011年相比，因火力發電使用率的上升以及日圓貶值的影響，2013年的原油與液態天然氣的費用上漲了10兆日圓，



這是造成日本貿易巨額逆差的主要原因。

因核電廠停止運轉，讓日本在過去的3年間面臨電費日益增加的問題，一般家庭電費上漲約2成，工業與辦公室用電上漲約3成。而日本因各種能源保護措施，在2010年與2012年期間的電力消耗量下降了8%，從996億瓩下降至916億瓩。且除了購買額外的化石燃料造成貿易赤字以外，日本政府每年還必須花費2億日圓（約新台幣5,000萬）在9所核電廠展示館（用來向一般民眾介紹核能發電技術，宣傳核電並解除民眾對於核能發電誤解的博物館）維護費用上。

日本的年度能源報告是為了統整該國的能源形式概述，供國家能源政策諮詢，也提供政府於2013年提出的「能源供需應平衡」採取措施。同時能源報告也預計，全球能源需求在2035年將增至2011年的1.3倍，亞洲地區的核電使用率將逐漸上升，並列舉了地震後必須面對的能源重要課題。

日本企業期望穩定電力供應

日本一般社團法人經濟團體聯合會（Keidanren）表明，日本把核能列入國家能源選擇是必須的，但福島縣的重建將是首要任務。

311福島核災至今，日本還是面臨著電廠核燃料的移除、輻射污染水貯存及外漏的問題，而輻射污染水到最後一定只有排入海洋的選擇，東京電力公司的危機處理能力讓大眾對東電逐漸失去信心。但是，這3年間接近無核電的日本，正面臨著電力成本上升導致貿易從順差跌至逆差與二氧化碳排放量急劇增加的情形，日本於近期宣布將對氣候的指標稍作修改。

同時，日本經濟團體聯合會與東芝公司副會長、也是日本原子力規制委員會委員的佐佐木則夫表示：「進口化石燃料的成本上升，是傷害出口導向型經濟的日本的主要原因，而穩定、廉價的電力供應則是目前最急需的。日本在無核電的這3年間，因必須進口更多的化石燃料，日本每年流失了將近3.6兆日圓的財富（接近新台幣1兆元）至海外，造成的貿易逆差使日本經濟持續衰退，也可能導致政府在國際間信用惡化，我們必須要有危機意識。」

佐佐木也指出，「電力成本的上升將打擊日本工業的競爭力」，經濟團體聯合會建議日本政府必須對「經濟是依賴穩定的電力供應而成長」有所認識，福島縣的復甦後續工作雖然是首要的任務，但關於「有核或無核」我們必須慎重冷靜的考慮，對於未來的能源政策不應太過依賴進口液態天然氣，並且應把發電成本低的核電列入「現實局面」。日本也應發展再生能源，但必須審查政府電力收購制度（Feed-in Tariff），以避免在經濟方面產生額外的負擔。

由此可見，日本核電廠全面停止運轉對該國的發電及用電已造成不小的壓力，也對經濟造成一定程度的阻礙。 ❁

資料來源：

1. http://www.world-nuclear-news.org/NP-Japan-continues-to-count-cost-of-idled-reactors-1706144.html
2. http://www.world-nuclear-news.org/NP-Business-calls-for-stable-power-supply-in-Japan-0212131.html

福島一廠 4 號機用過核燃料組件移出 90%

文．編輯室

東京電力公司表示，福島第一核電廠4號機用過核燃料池中近90%的用過核燃料組件已轉送到中央貯存池，剩餘的部分預定將在今年底全數移出。

東京電力公司在網站上公布的一份報告說，水池中的1,331束用過核燃料組件，1,166束已被移出，尚餘165束。最初水池中有1,533束燃料組件，有1,331束是使用過，202束未使用過。

2011年3月發生地震和海嘯時，福島一廠4號機正進行定期大修檢查，處於停機狀態，所有用過核燃料組件已轉移至用過核燃料池。未使用的核燃料組件正準備放入反應爐時，災難發生了。

東京電力公司在報告中表示，在事故發生後用來貯存放射性污水的貯存槽，發生洩漏的問題始終沒有根除。

福島繼續將清潔地下水排入太平洋

日本原子力產業發展協會（JAIF）表示，福島一廠將近16,000噸的乾淨地下水已排入附近的太平洋，自從減少污染水體



▲福島一廠防滲漏鋼製海堤（攝影：東京電力公司）

積的行動開始，流經反應爐廠房周圍未受污染的地下水已可放行。

自2014年5月21日開始，東京電力公司已排放地下水計11次，總體積約15,828噸。東京電力公司說，要完全確認該行動的效果需要一段時間，將會繼續監測相關情形。

在不同的觀測井測量地下水位，顯示地下水位已經下降10公分左右。安裝地下水繞道系統後，東京電力公司開始排放地下水進入太平洋。這套系統是放行自然流經福島一廠後方山頂與反應爐廠房之間的地下水，相當靠近海洋。

因為地下水是從山頂向下流向海洋，繞道系統攔截乾淨的水，經由周圍較安全的設施。地下水被暫時貯存，於水質檢測後再排入海洋。地下水繞道系統的幾個策略之一，是大量減少流經反應廠房地下室的水量，以減少電廠內污水的體積。

另一種策略是在該設施的地底下建造「凍土壁」（ice walls），試圖減緩積聚的放射性污水。

凍土壁的作法是在地下鑽挖豎井、插入冷凍管，以凍結土壤並防止地下水流動。日本原子力產業發展協會表示，凍土壁的興建工作正在進行，但是還無法完全凍結土壤；東京電力公司正在考慮增加「額外措施」，包括在鑽孔內加入乾冰的作法。

日本經產省8月26日公布，已經選定美國Kurion公司、奇異公司以及俄羅斯FSUE放射性廢棄物管理企業（RosRAO）3家公司，提供技術，將福島一廠污水中的氚去除。目前福島一廠的水質淨化設備可以去除污水中的62種放射性核種，但是仍無法去除氚。經產省表示，目前尚未確定是否引進除氚設備至福島一廠。

柏崎刈羽機組申請重新啟動

此外，東京電力公司已向日本政府申請許可重啟柏崎刈羽核電廠，並持續改善設施，期望最終能重新發電。日本原子力規制委員會已經開始審查柏崎刈羽6號機和7號機，是否符合新的核安標準，以及重新啟動的準備程度。柏崎刈羽6號機和7號機都是1,315百萬瓦的進步型沸水反應爐，分別於1996年和1997年開始商轉。

柏崎刈羽電廠7座機組沒有直接受到2011年3月的地震和海嘯攻擊，但是曾在2007年7月遭遇強震，當時3、4、7號機組安全的自動停機，1、5、6號機正處於定期大修檢查的狀態。2號機在技術上已完成定期大修檢查，才剛剛開始啟動運轉，但是機組也安全地停機。

東京電力公司在修復損壞的系統並檢查之後，已重新啟動1、5、6、7號機；但是這些機組在福島事故後依照政府規定停機進行安全檢查，至今仍未重新啟動。

參考資料：

1. http://www.nucnet.org/all-the-news/2014/08/13/90-of-spent-fuel-assemblies-removed-from-fukushima-unit-4-says-tepco
2. http://www.nucnet.org/all-the-news/2014/08/04/fukushima-bypass-system-continues-to-pump-clean-groundwater-into-pacific
3. http://www.world-nuclear-news.org/RS-Japan-to-test-tritium-removal-technologies-1009145.html

英國核電工業向中國打開投資大門

文・編輯室

英國政府的能源與氣候變化局（Department of Energy and Climate Change）表示，中國國務院總理李克強於今（2014）年6月17日，在英國進行正式訪問的期間簽署了兩項中英合作的協議，不僅允許中國的企業能夠入股，投資英國核電廠計畫，同時也將在英國興建中國設計的反應爐。

李克強與英國首相大衛・卡麥隆（David Cameron）所簽署的第一項核能協議，英國能源與氣候變化局聲稱此舉為中國快速增長的核電工業「開闢了前方的道路」，讓中國企業能投資英國EDF能源電力公司在辛克利角C核電廠的2座16萬瓩EPR的計畫。在聯合聲明中，李克強與卡麥隆說，中國與英國已準備好能隨時開始合作，將確保辛克利角C核電廠建造計畫能儘早成功。

英國能源與氣候變化局以及法國電力集團（EDF能源電力公司的母公司），在2013年10月宣布，他們將對辛克利角C核電廠進行投資，合約上的主要條件是允許英國國有的法商公司能為投資合夥人作保。而股權配額估計將是EDF電力公司持有45至50%的股權，中廣核集團有限公司（CGN）和中國核工業集團公司（CNNC）共持有30至40%，法商亞瑞華（Areva）公司10%，以及對此計畫有投資意願的黨派集團15%。

能源與氣候變化局表示，這份協議是建立在一份英國於2013年10月時與中國簽署的合作備忘錄（MOU）上，此合作備忘錄為國內核能合作設置了框架。而這次核能協議的簽署，同時把目標指向「兩國能共同努力開發與輸出創新的核廢料處理，以及除役方面的解決方案－這些方案在近幾年對英國企業來說價值是以數億英鎊來計算，並為將來更廣泛的核燃料供應鏈締造更好的合作機會。」



▲英國首相大衛・卡麥隆（左）與中國國務院總理李克強（右）



▲李克強（前）於今年 2014 年 6 月赴英造訪英國首相（後）

而第二份的單獨協議是一份四方的合作備忘錄，四方指的分別為英國能源與氣候變化局、中國核工業集團公司、中國國家原子能機構與英國除役管理局（UK's Nuclear Decommissioning Authority）的商業部門－國際核能服務公司（International Nuclear Services）。能源與氣候變化局表明，只要中國籍企業遵守英國監管處的要求，這份「里程碑式的協定」將使中國籍企業能擁有並經營地點位於英國、但由中國所設計的核電廠。

因2011年的福島核災，日本及德國都降低對核能發電的依賴，但英國卻反其道而行，英國目前有9座老化的核電廠，政府計畫在2030年之前，能完成位於5處核電廠廠址、大約12座反應爐的興建，而此協議即屬於其中之一。

英國的羅爾斯．羅伊斯（Rolls-Royce）工程公司也宣布，已與中國核反應爐廠商－中國國家核電技術公司與中廣核集團－簽署性質相同的合作備忘錄。羅爾斯．羅伊斯表示，這份合作備忘錄將會在工程支援、設備零件與系統的提供、運輸供應管理與儀器儀表的控制技術等領域，探索合作的可能性。

中國除了朝核電自主化並向國外輸出邁進之外，也於國內大力發展核電產業，在未來的幾年內將興建十幾座核電廠，目前中國已擁有17座反應爐，且發電總容量已於2011年超越美國，高達11.45億瓩，但核電只占了中國電力的2%。由此可見，此兩項協議將使中國的核電產業更為壯大。

資料來源：

1. http://www.world-nuclear-news.org/NP-UK-government-paves-way-for-Chinese-nuclear-plant-18061401.html
2. http://www.nytimes.com/2013/10/18/business/international/britain-to-let-chinese-buy-into-nuclear-power-plants.html?pagewanted=all&_r=0

美國環保局：發展核能是氣候問題的解決方案

文．編輯室

美國國家環境保護局（EPA）在為減少二氧化碳排放所擬議的規定中，鼓勵各國考慮建造新的核電廠並保留現有的，以應對歐巴馬總統近期公布的新政策──大幅降低美國電廠所排出的二氧化碳排放量。

根據報告指出，美國將對「反對過早除役」的核電廠給予獎勵，同時也鼓勵核能產業界能「開發出更好的核電機組，並對現有的核電機組做出改善」。美國環境保護局同時也表示，位於美國30個州內的核電廠在2012年供應了約60%的無碳能源，然而如果能順勢延長即將面臨除役核電廠的運轉時間，在所承諾的最初10年內，可避免2至3億公噸的二氧化碳排放至大氣中。

雖然大多數的氣候與能源專家預計碳排放的大幅度減少，是來自用天然氣取代燃煤，美國環境保護局所提出的規定一再提到，核能是國家實施此規定的關鍵，在天然氣發電產生約火力發電廠一半的二氧化碳排放的情況下，核能發電的過程中幾乎沒有排放二氧化碳。

美國環境保護局同時也指出，改善每個國家的核能發電容量為「減少二氧化碳排放量技術上可行的辦法」。在核能發電約90%、風力和太陽能發電等再生能源發電約10%至30%的地方，所需要的備用電源，往往是從能迅速供應與關閉的天然氣發電取得。



▲卡羅爾．布朗女士

正值美國關心現有核電廠之時，環境保護局提出了這項規定。目前美國共有5座反應爐在興建中，但數間電力公司在過去的兩年宣布將讓5座反應爐機組除役。根據《紐約時報》的報導，另外還有一間電力公司因為財務上的問題，打算關閉高達3座位於伊利諾州的反應爐。

2014年5月，在美國前總統克林頓任內領導美國國家環境保護局、目前為白宮能源氣候環保顧問的卡羅爾．布朗（Carol Browner）女士，宣布她將主張保留、維護美國的核能團隊。在過去的幾個月，多名國際氣候科學家和極有影響力的環保團體領袖，呼籲他們的同僚也能重視核能發電，這項在技術上能解決全球暖化的關鍵方法

資料來源：
http://thebreakthrough.org/index.php/programs/energy-and-climate/epa-points-to-nuclear-as-climate-solution

用過核燃料有解 讓美國重開反應爐申請之路

文·編輯室

當繼續儲存用過核燃料對環境影響的最後一項法規獲准時，美國核能管制委員會（NRC）恢復了反應爐的執照審核程序。

核管會在一份聲明中說，一旦該法規生效，將取消其暫停發放新反應爐申請或是核電廠更新的最終執照的作為。

這顯示出為期2年的努力，為解決美國哥倫比亞上訴法院的命令──2012年6月時推翻了核管會2010年「廢棄物信心」修訂版的法規──終於獲得圓滿結局。

法院聲稱，核管會未能考慮到如果沒有可用的處置場，用過核燃料會發生什麼樣的情況，同時該機構也沒有考慮到，用過核燃料池發生火災或洩漏對環境造成的影響。

核管會的回應就是決定自2012年8月開始暫停新反應爐的最終執照，以及反應爐的執照更新和用過核燃料貯存設施的更新。並指示其工作人員在24個月內制定新的法規，並支持一般環境影響評估（GEIS）。

核管會說，一般環境影響評估針對貯存用過核燃料期限將超出反應爐執照運轉的壽命，分析了3種時間框架對環境的影響，分別是：60年（短期方案）、短期方案之後100年（長期方案）和無限期。

同時也分析了對土地利用、空氣與水的品質，以及歷史文化資源的潛在影響。

核管會說，一般環境影響評估的最終法規與配套9月將在聯邦公報中公告，該法規將自公布之日起30天後生效。

美國原本計畫在內華達州的雅卡山（Yucca Mountain）興建深地層處置場，但在2010年，歐巴馬政府表示不贊成這項計畫。2010年1月，歐巴馬成立了一個委員會，提供建議以制定長期的解決方案，來管理全國的放射性廢棄物與用過核燃料。

根據委員會的調查發現，美國能源部（DOE）已建議初期在已經關閉的核電廠內興建容量有限的試驗性貯存設施，可暫時貯存用過核燃料。該設施將在2021年開始運轉。

大容量的臨時貯存設施將於2025年完工，將「提供彈性」，以滿足聯邦政府所承諾接收的商業用過核燃料。有關詳細內容，請參閱：http://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/wcd.html

資料來源：
http://www.nucnet.org/all-the-news/2014/08/27/spent-fuel-decision-opens-way-for-reactor-licensing-in-us

核能新聞

文．編輯室

國外新聞

沙烏地阿拉伯核能峰會，將討論新建機組

11月5-6日在沙烏地阿拉伯首都利雅德舉辦的研討會，將討論沙國的核能計畫，並匯集專家討論該國未來的能源生產。

沙國的核電新建高峰論壇將集中於討論核能在沙國的發展。會議組織者Konseptos公司表示，此次峰會希望能達成在技術、投資與政策上的共識，這將推動沙國未來20年的能源計畫。

沙國計畫到2020年時建設2座核能機組，2030年時有16座機組，計畫明年開始進行反應爐競標作業。主辦單位表示，每座機組建議投資金額將達70億美元（53億歐元），沙國政府已預留1,000億美元，在未來的10年興建16座機組。據規劃到2032年，將有17,000百萬瓦的核電容量可提供全國電力的15%。欲了解此高峰論壇更多資訊，請上網：http://saudinuclearnewbuild.com/

（2014.09.05, NucNet News_No.36）

歐基盧歐圖 3 號機最新運轉日期訂於 2018 年

亞瑞華（AREVA）公司表示，芬蘭的歐基盧歐圖3號機將在2016年年中建設完成，開始試運轉，預定於2018年商業運轉，較原定計畫延遲了9年。

亞瑞華—西門子合資公司負責建造這座1,600百萬瓦的EPR，向電廠擁有者—Teollisuuden Voima Oyj（TVO）公司提報最新的時間表，延遲的主要理由是最近審核通過的反應爐儀表與控制系統：「經過與TVO公司4年的交流，儀控系統架構終於在2014年4月獲准，成為安排完工時程的重要關鍵要素。」

亞瑞華公司說，更新後的計畫是根據TVO公司的合作程度所做的「關鍵性假設與承諾」。TVO公司表示將評估修改後的時間表，但是補充說，2018年完工是令人「難以接受的預測」。

2008年10月，亞瑞華—西門子公司告知TVO公司歐基盧歐圖3號機的運轉時程將從2009年延至2012年。而2013年2月，TVO公司宣布歐基盧歐圖3號機可能會到2016年之後才能啟動。

亞瑞華表示從財務角度看，歐基盧歐圖3號機更新後的時間表對履行合約不會造成影響，截至2014年6月30日，其中尚有39億歐元（約51億美元）。

（2014.09.01, NucNet News_No.270）

英國完成日立——奇異 ABWR 初期設計評估

英國的聯合核子管制機構已完成日立—奇異公司的英國進步型沸水式反應爐（ABWR）設計的初期高階評估，接下來將進展到更詳細的階段。

核子管制辦公室（ONR）與環境局（EA）今天在一份聲明中說，他們還不能確定英國進步型沸水式反應爐「現階段」任何基本的安全、保安或環境問題。

核管機構的結論是，使用英國進步型沸水式反應爐所產生的輻射，對人們的影響將低於英國法定的劑量限值和規定。「我們還沒有確定在這個階段有什麼是明顯不能接受的事情」，他們說。

核管機構計畫2017年12月完成設計評估，即一般設計評估（GDA）。日立的子公司哈里榮（Horizon）核電公司，計畫在北威爾斯（Wales）郡的威爾法（Wylfa）和格洛斯特郡（Gloucestershire）的奧德伯里Oldbury 2座核電廠內，安裝英國進步型沸水式反應爐。管制機構的完整報告：http://www.onr.org.uk/new -reactors / UK-ABWR / reports.htm

（2014.08.28, NucNet News_No.269）

美國核管會批准桃子谷 2、3 號機功率提昇

美國核管會已經批准愛塞隆（Exelon）發電公司位於賓夕法尼亞州的桃子谷（Peach Bottom）核電廠2、3號機，各提昇12.4%發電量的申請。

核管會核定愛塞隆公司可經由更新某些電廠系統和組件，安全地提昇反應爐的電力輸出。核管會的工作人員也審查了愛塞隆公司的評估，顯示該電廠的設計可以處理提昇的電力功率。

這2個機組都是1,065百萬瓦沸水反應爐，2號機於1974年7月商轉，3號機於1974年12月商轉。1號機則是40百萬瓦的實驗型高溫氣冷式反應爐（HTGR），已於1974年11月永久關閉。

核管會的安全性評估集中在幾個部分，如蒸汽供應系統、儀表與控制系統、電力系統、事故評估、放射性結果、運轉與訓練、測試與技術規範的變化。

核管會說，為增加分析的信心，核管會的工作人員還進行了「獨立驗證計算與選定區域的審核」。

桃子谷電廠獲得授權每個反應爐可提昇約140百萬瓦的電力，愛塞隆公司計畫在2014年秋季更換燃料大修時進行2號機的功率提昇作業；3號機則是2015年秋季進行。

（2014.08.26, NucNet News_No.264）

中國田灣 3 號機完成反應爐壓力槽壓力測試

江蘇省田灣電廠3號機VVER-1000興建中反應爐壓力槽的壓力測試，已經由俄羅斯Izhorskiye Zavody公司完成。

該測試是在一個特殊的支架上進行，證明了反應爐壓力槽與焊接部分的耐用性。Izhorskiye Zavody公司表示，反應爐壓力槽與內部組件，以及反應爐壓力槽蓋在運送到工地前將先行組裝。在田灣電廠有4個俄羅斯設計的VVER-1000核電機組，2個已開始商轉，另2個正在建設中。

（2014.08.22, NucNet News_No.34）

中國福清 1 號機連接到電網

中國核工業集團公司（CNNC）表示，福建省的福清1號機已首次向電網傳送電能。

福清電廠1號機現在是調試階段，可望於2014年11月商轉。據中國核工業集團公司表示，該機組2014年7月24日達成了首次

臨界。包括先進的燃料組件設計、全數字化儀表和控制（I&C）系統、改進的消防系統和新的嚴重事故管理對策，福清1號機的技術層面有顯著的改進。

福清電廠興建中的4座機組，都是國產的CPR-1000二代進步型壓水式反應爐（PWR），每座淨發電量1,000百萬瓦。

8月7日，福清2號機完成機組試運轉的主要迴路水壓試驗，預計將在2015年8月完工。福清3、4號機則預計在2016年2月和2017年3月完工，福清5、6號機的籌備工作也已開始，中國核工業集團公司正在等候核准開始建設。

（2014.08.21, NucNet News_No.261）

中國完成第一座國產 AP1000 反應爐壓力槽

位於浙江省的三門電廠1號機，在2013年接收世界首台AP1000機組，隨後中國第一重型機械集團公司於2014年6月，在美國西屋電氣公司的監督下，成功建造中國第一座國產反應爐壓力槽，並通過壓力測試。

這座國產壓力槽將使用於三門電廠2號機、同時也是中國的第二座AP1000機組，除了三門電廠的2座AP1000，在山東省海陽電廠還有2座AP1000施工中。中國第一座國產AP1000蒸氣產生器也是為了三門2號機而製造，已於今年5月通過測試。

在中國正逐漸朝自主發展AP1000邁進的當下，國家核電公司（SNPTC）在主要供應商－西屋電氣公司的知識和技術轉移上，扮演著很重要的角色。

（2014.08.21, WNN）

波蘭計畫使用核電等低碳能源取代燃煤發電

根據波蘭發布2050年前的能源政策草案，波蘭將引進核能和再生能源發電以降低對燃煤發電的依賴。

波蘭政府提出兩個因應能源供應的方案，這兩個方案都將在2020年引進核電，並使核能與再生能源成為「2025年後能源供應的重要環節」。方案1預計於2035年時核能發電容量達到50兆度，這表示政府需建造2座3,000百萬瓦核電機組，同時再生能源年發電量將在2035年達到60兆度，2050年達到70兆度。而方案2的核電增長更為快速，2050年發電量將達到74兆度，且再生能源將逐步增加至49兆度。

這兩個方案都將在2050年將核能與再生能源每年的低碳發電量提高至125兆度，將降低近40%的煤炭消耗量。

（2014.08.21, WNN）

芬蘭歐基盧歐圖 4 號機申請延長期限

芬蘭輻射與核能安全局（STUK）認為，歐基盧歐圖電廠第4座核電機組的建廠執照申請期限延長，在安全性方面沒有妨礙。

芬蘭輻射與核能安全局表示，如果延長執照申請的期限獲准，將有更多的時間可開發安全方面的項目，對廠區展開進一步的調查。

按照目前的決策原則，歐基盧歐圖4號機必須在2015年6月提交建築執照申請。2014年5月時，歐基盧歐圖的運轉商TVO公司，請求就業與經濟部延長申請期限

5年。

（2014.08.19, NucNet News_No.259）

沙烏地阿拉伯與中國進行核能合作

沙烏地阿拉伯的沙特可再生能源採購機構（K.A.Care）和中國核工業集團公司（CNNC）簽署合作備忘錄（MoU），在核能領域展開合作。

該備忘錄預計設立設計與技術、小型模組化反應爐（中小型反應爐）、人力資源開發、核燃料循環與核子工程方面的工作組。

該協議是基於2013年11月雙方所簽署的一份合作備忘錄，目的是要探討彼此合作的可能性。這份備忘錄是中國的一個代表團於8月7日訪問沙烏地阿拉伯期間所簽署。

（2014.08.15, NucNet News_No.33）

中國國家能源局批准紅沿河 2 座新機組

中國核能行業協會（CNEA）表示，遼寧省紅沿河核電廠2座新機組將在2014年年底核准建設。

這兩座機組被命名為紅沿河5號機和6號機，預期將是中國國內設計的CAP-1400第三代，以西屋的AP1000為設計基礎。

紅沿河是中國東北地區最大的核電廠，有2座商轉中的機組，2座正在建設中，全部都是中國國內設計的第二代CPR-1000。紅沿河1號機和2號機分別於2013年6月與10月商轉，3號機與4號機於2009年3月與8月開始動工。

2014年6月，中國政府表示將加速批准12座新反應爐，其中2座新機組就是在紅沿河。

根據國際原子能總署的動力反應爐資訊系統（PRIS）的資料庫統計，中國有1,690萬瓩的核電容量在商轉，2,775.6萬瓩在興建中，共有4,465.6萬瓩（淨值）。中國現有21座機組商轉，28座興建中。

（2014.08.14, NucNet News_No.254）

西班牙為迦羅娜電廠重新啟動設定條件

西班牙核子安全委員會（Consejo de Seguridad Nuclear, CSN），為單一機組的聖瑪麗亞-迦羅娜（Santa Maria de Garona）電廠提出時間表，9月底前需滿足反應爐重新啟動一連串的管制要求。

這個「技術指令」要求，包括反應爐壓力槽長期運轉、檢查與測試的問題。還包括從2011年福島事故所獲得的教訓，以及隨後的歐洲壓力測試等，所做的設計修改。其中最重要的要求是，運轉商Nuclenor公司應對迦羅娜電廠的反應爐及其組件的功能與結構的完整性進行檢查。

Nuclenor公司，是由西班牙公用事業公司Endesa和Iberdrola公司共同擁有，在2012年12月運轉執照到期前6個月關閉了該機組。Nuclenor公司說，要關廠的決定是能源生產稅與用過核燃料稅的結果，這使得迦羅娜的運轉已經不符合經濟效益。

近來西班牙國家法律有所改變，允許電廠關閉的原因在不涉及安全的前提下可重啟機組。於是，2014年5月Nuclenor公司提出迦羅娜電廠執照更新的申請。

（2014.08.01, NucNet News_No.31）

國內新聞

專業釐清、深度參與、多元發聲 全國能源會議正式啟動

經濟部9月10日宣布，全國能源會議正式啟動！會議將以「未來電力哪裡來？」為主題，聚焦討論我國未來電力3大核心議題：需求有效節流、供給穩定開源、環境低碳永續。會議創新規劃公開透明的程序，經由專業釐清客觀事實，讓民眾深入瞭解多元面向的客觀事實與問題，並建構實體與網路多元對話平台，擴大社會各群體深度參與，廣納因應策略意見，以周延政府策略措施規劃的參考。

經濟部表示，全國能源會議召開是以履行馬英九總統在今（2014）年4月27日宣布核四安檢後封存的同時，承諾召開全國能源會議，以確保未來供電無虞。此外，因考量能源議題與民眾切身相關，但受限於其專業性，民眾對能源認知普遍不足。本次會議創新規劃，於第一階段公開政府所蒐集或研究的背景參考資訊，並開放民眾、機關或團體參與研提各討論議題有關的背景資訊，至10月9日截止（共4周）。政府及各界研提資訊將交由各領域專家依一致性的檢視原則，進行「專業釐清」。此創舉辦理方式，將使會議討論資料不偏向特定立場，而是多元面向的客觀背景資訊揭露。

經濟部進一步指出，鑑於過往會議討論常流於問題表象的討論，或意識型態的爭辯，本次會議強調深入問題核心，透過「瞭解」多元面向的客觀資訊後，再進入實質的因應對策討論；並嘗試新的網路參與模式，延伸參與對象，鼓勵充分瞭解，並透過會議多元管道對話平台，達成民眾「深度參與」的目的。

第二階段在釐清後的共同客觀背景資訊下，辦理全省8分區及3團體（學研、產業及社會）的因應策略意見徵詢會，廣納各界對因應策略的建議，期使後續全體大會的討論更能聚焦，有利產出最大共識。

第三階段的全體大會將擴大參與，秉持不同族群「多元發聲」原則，邀請學研、產業、社會、政府部門等四大群體，包括學研機構、工商能源產業、勞工、環保、婦女、社福、青年、中央及地方政府等社會各階層代表共同參與。此次亦將大幅提高社會代表比例，尤其擴大國家未來中流砥柱的青年學生參與，以表達對台灣未來能源走向的看法。

另外，政府也未忽略網路族群的需求，於本次會議同步規劃各項虛擬網路的參與管道，除了設置「全國能源會議」專屬網站（http://103年全國能源會議.tw）、開放討論區進行意見徵詢，也規劃網路會議直播等，另外也創新嘗試召開網路會議。

經濟部最後強調，此次會議期與社會各界進行專業釐清、深度參與、多元發聲的意見溝通與討論，在對我國能源選擇及其風險承擔有多元面向客觀認知基礎下，共同理性面對國內外日益嚴峻的政經能源及環保情勢，及因應核四封存後我國未來的電力新情勢，提供多元觀點及寶貴意見，以作為政府部門周延政策措施規劃的參考。

（2014.09.10，本刊訊）

南灣珊瑚愛的教育 台電參與「珊瑚礁大使計畫」3D 影片

台電9月13日在核三廠南部展示館舉辦「瑚光珊色 南灣珊瑚愛的教育」珊瑚培育成果發表會，由台電黃重球董事長主持，邀請台灣研究珊瑚礁生態的泰斗台大海洋所戴昌鳳教授，及中央研究院多樣性生物中心邵廣昭研究員以及推動「珊瑚礁大使計畫」的海洋生物館研究員樊同雲教授等海洋相關生態領域專家到場見證。

台電指出，核三廠進水口因為管制而形成另類的海洋保護區，再加上歷年委託專家學者進行珊瑚培育得宜，繁衍了極豐富的珊瑚生態，形成南灣海域魚類的伊甸園。

核三廠坐落在南灣，為了維持保護鄰近海域珊瑚生態的豐富性，台電30多年來做了許多努力，包括委託國內專家學者進行南灣海域珊瑚礁的相關調查監測，並於核三廠進出水口海域進行珊瑚培育；運轉設計的部分，還增加導流堤設計導引溫排水排放至表層海面以及增設熱稀釋冷卻水等，希望確保南灣地區的珊瑚能夠欣欣向榮。

藉由進水口的珊瑚保育基地、網路即時影像資料庫的應用以及與海生館合作培育的珊瑚，台電參與「珊瑚礁大使計畫」，結合台灣屏東恆春國中、車城國中及美國加州聖地牙哥高科技中學（San Diego High Tech Middle School）兩地的學子們，利用模擬珊瑚礁的生態缸，經由遠距交流，學習保護海洋生態的智識和技能；2012年由樊同雲教授主持的該計畫還獲得美國國務院撥款獎助。3年來的推廣，已有8所夥伴學校，其中7所都在屏東當地，促進台灣學子關注家鄉的海洋生態，並邁向國際化交流發展，非常有助益。

台電表示，推廣海洋生態保育的第一步，就是要喚起關心與愛護之心，為了彌補大多數的人都沒有機會親自到海底去觀察的遺憾，台電去年委託海生館研究團隊的潛水拍攝，製作國內首支水下珊瑚礁生態3D影片「魚類伊甸園」，時間長度約22分鐘，除發表會活動當天首播外，日後也將在台電南部展示館的3D劇院定期播映，歡迎民眾欣賞南灣海域生態之美，體驗海洋保育的重要。

（2014.09.13，本刊訊）

核二廠警報系統可在法定時間內完成播報

8月8日媒體報導核二廠警報系統在今年核安演習失常，台電表示，7月29日舉行的核安20號演習，有關民眾預警功能測試，包括全區手機簡訊發放、市話語音通知及預警廣播系統等3項。當日前2項皆順利完成，只有預警廣播系統可能因電信公司網路訊號傳輸異常，導致播放不順；雖無法達成全區同時廣播功能，經事後重新測試確認可順利在法定時間內分區完成，不致影響通知民眾的示警目的。目前台電已完成檢討報告，並要求建置廠商儘速協助改善，讓36個警報站可以同時播放。

（2014.08.08，本刊訊）





何博士的日常豆知識

Q：地震有時會引發海嘯，
會不會危及核電廠安全？

日本福島一廠發生核災的**原因之一**，
是海嘯高度（15公尺）**超過廠址高度**（10公尺），
而引發後續一連串意外事件。
台灣所有核電廠，廠址高度都高於可能發生的海嘯，
在日本福島地震後，又**增設防海嘯牆**，更不易遭受海嘯襲擊。

真假ㄉ？
我真的很worry

單位：公尺

	核一廠	核二廠	核三廠	核四廠
廠址設計高度	11.2	12	15	12
規劃建置防海嘯牆後高度	17	17	19	14.5
依歷史資料評估最大海嘯高度	10.73	10.28	12.03	8.07

請放心

海嘯雖可怕，但我們已做好防護措施，請民眾放心。